REVUE GÉNÉRALE
DES
SCIENCES
PURES ET APPLIQUÉES

PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

Président du Comité de Direction :
Jacques TRÉFOUEL,
Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine,
Directeur de l'Institut Pasteur.

Tome LIX - 1952.

SOCIÉTÉ D'ÉDITION D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
Siège Social : 99, Boulevard Saint-Michel - PARIS V^e^
Rédaction et abonnements : 5, place de la Sorbonne - PARIS V^e^

Fondateur : **L. OLIVIER** (1890-1920)
Directeurs : **J.-P. LANGLOIS** (1910-1923), **L. MANGIN** (1924-1937), **R. ANTONY** (1937-1941), **J. VILLEY** (1941-1948)

COMITÉ DE DIRECTION

Président : **M. J. TREFOUEL,** membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine, Directeur de l'Institut Pasteur.
Membres : **MM. G. BOULIGAND, Maurice PARODI, R. CAVIER, R. FURON, Dr P.-F. PETIT, Paul JOVET.**
Secrétaire général : **R. CONSTANS.**

COMITÉ DE RÉDACTION

G. BERTRAND, *Membre de l'Institut.*
L. BINET, *Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté de Médecine.*
L. BLARINGHEM, *Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne.*
Louis de BROGLIE, *Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.*
Maurice de BROGLIE, *Membre de l'Académie Française et de l'Académie des Sciences.*
J. CABANNES, *Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.*
A. CAQUOT, *Membre de l'Institut.*
A. DANJON, *Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Paris, Professeur à la Sorbonne.*
R. DUBRISAY, *Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers et à l'Ecole Polytechnique.*
R. DUSSAUD, *Membre de l'Institut.*
R. FABRE, *Membre de l'Académie de Médecine, Doyen de la Faculté de Pharmacie.*
L. GODEAUX, *Membre de l'Académie Royale des Sciences de Belgique, Professeur à l'Université de Liége.*
L. HACKSPILL, *Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne.*
C. JACOB, *Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne.*
J. JOLLY, *Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.*
R. P. LEJAY, *Membre de l'Institut.*
A. LAMOTHE, *Ingénieur Général d'Artillerie Navale, Directeur des Etudes à l'Ecole Polytechnique.*
Ch. LAUBRY, *Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine.*
A. LEPAPE, *Professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie, Chargé de Cours au Collège de France.*
M. LOEPER, *Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine.*
PASTEUR VALLERY-RADOT, *Membre de l'Académie Française et de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine.*
J. PERES, *Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne.*
A. PORTEVIN, *Membre de l'Institut, Professeur à l'Ecole Centrale.*
M. PRENANT, *Professeur à la Sorbonne.*
H. VILLAT, *Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne.*
Paul E. WENGER *Doyen de la Faculté des Sciences de Genève, Directeur de l'Ecole de Chimie.*

Adresser tout ce qui concerne la rédaction :
à M. R. CONSTANS, 5, place de la Sorbonne, Paris (Ve)

La reproduction et la traduction des œuvres et des travaux publiés dans la **Revue** sont complètement interdites en France et en pays étrangers y compris la Suède, la Norvège et la Hollande, sauf autorisation des Éditeurs.

TARIF DE L'ABONNEMENT 1952

France, France d'outremer, Monaco ..... **900 francs**
Etranger ..... **1.000 francs**

Envoyer les mandats, chèques sur Paris et chèques postaux (compte Paris 5625.02) à **S.E.D.E.S.,** 99, boulevard Saint-Michel, Paris (Ve).

CHANGEMENT D'ADRESSE

Il ne sera tenu compte désormais que des changements d'adresse accompagnés de la dernière bande et de la somme de dix francs en timbres-poste pour la France et d'un coupon international pour l'Etranger.

Revue générale des Sciences
pures et appliquées
et Bulletin de la Société Philomathique
T. LIX N°s 1-2 1952

CHRONIQUE ET CORRESPONDANCE

Compensation isostatique de l'ensemble des continents et des océans

On sait, par les mesures de pesanteur, que l'équilibre isostatique est réalisé, en première approximation, sur la majeure partie du globe (1) ; autrement dit, qu'à tout relief correspond, en profondeur, un déficit de densité, et à tout creux, un excès. On peut d'ailleurs imaginer plusieurs combinaisons (théoriquement, une infinité) pour la répartition de la densité en fonction de la profondeur. Dans l'hypothèse d'Airy, la plus satisfaisante pour le géographe et le géologue (2, 5) on admet que les continents sont faits d'une matière légère, ou *sial*, flottant, tel un glaçon sur l'eau, sur un fond plus lourd, ou *sima* ; sous les océans, le sial se réduirait à une couche mince ou même, selon Wegener, à zéro, le sima affleurant dans ce cas directement au contact de l'eau.

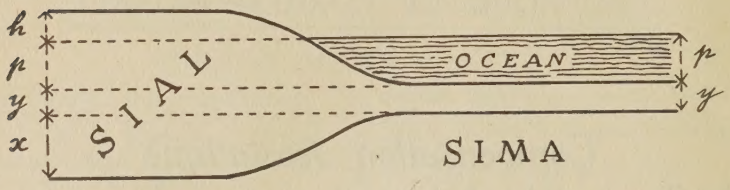
L'étude d'exemples régionaux (Alpes, Amérique du Nord, Himalaya, etc...), a conduit les géophysiciens à évaluer la profondeur de la couche de compensation, assimilée ici à la surface inférieure du sial, entre 24 et 60 km., selon qu'on adopte 3,3 ou 2,9 pour la densité du sima. Et bien qu'ils aient eu soin de préciser combien une généralisation serait aléatoire (1, 2), plusieurs géologues et géographes ont cru pouvoir généraliser ces valeurs, et ont admis en même temps, avec Wegener, que sous les océans le sial se réduit à zéro.

Puisque continents et océans sont le trait majeur du relief terrestre, il est intéressant de leur appliquer, avec Lagrula (3), la relation d'isostasie, en supposant chacun des deux blocs nivelé à son altitude moyenne. Soit h l'altitude moyenne des continents, p la profondeur moyenne des océans, y l'épaisseur moyenne du sial sous les océans (nulle d'après Wegener), $h + p + y + x$ son épaisseur sous les continents, d sa densité, D celle du sima. La densité moyenne des océans (eaux de surface plus légères et eaux de profondeur plus lourdes) est voisine de 1,04. En négligeant l'effet peu important des

variations de g avec la latitude et la profondeur, et en assimilant chaque tronc de cône à un cylindre, on a :

d'où : $d(h + p + y + x) = 1{,}04\,p + dy + Dx$

$$(A) \quad x = \frac{dh + (d - 1{,}04)\,p}{D - d}$$



Or h est évalué à 780 m. par de Martonne (4), 840 m. par Sverdrup, 875 m. par Kuenen (5) : p est évalué par Sverdrup et Kuenen (5) à 3.800 m. (le quotient du volume par la surface donne 3.786). Si on incorpore, comme il est logique, le plateau continental aux continents, on trouve pour h, respectivement, 650, 700 et 730 m. et pour p, 4.100 m. Pour d, Hayford adoptait 2,67, mais d'après les travaux récents, 2,7 est plus proche de la réalité. D n'est pas connu, mais doit être compris entre 2,8 (limite inférieure des basaltes) et 3,3 (péridotites). De (A) on tire alors pour $x + p$ des valeurs (M) ou (K) (tableau ci-dessous), suivant qu'on prend h = 650 ou 730. J'ai rappelé, en outre, pour comparaison, la valeur approximative (L) de Lagrula et les valeurs trouvées pour la profondeur de compensation $x + y + p$ par Vening-Meinesz (V) et Heiskanen (H) dans des études régionales (6, 7).

D	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3
D—d	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
(x + p) M	90	47	33	25	21	18
(x + p) K	92	48	33	26	22	19
(x + p) L						20,4
x + p + v	110	58	41	33	28	24
(x + y + p) V						25
(x + y + p) H		60,6	52,7			34,5

Les différences entre les valeurs trouvées ici pour $x + p$ (M et K) et les valeurs d'Heiskanen (H) et Vening-Meinesz (V) pour $x + p + y$, donnent, pour épaisseur du sial sous-océanique, y = 6 à 20 km. Par suite, ou bien il est exact que le sima affleure directement sous le fond des océans, l'épaisseur y étant nulle, et alors les valeurs d'Heiskanen et Vening-Meinesz ont seulement une signification régionale, et on n'a pas le droit de les extrapoler à l'ensemble des continents. Ou bien on a le droit de les extrapoler, mais alors le sima n'affleure pas directement sous les océans. Ainsi une considération géographique simple permet-elle de déceler, entre deux

opinions souvent admises, une contradiction. On pourrait, bien entendu, s'en tirer en recourant à d'autres hypothèses. On sait que des sondages sismiques ont révélé, en divers points des océans et des mers, une épaisse couche de vase ; imaginons que sa profondeur moyenne soit 3 km. et sa densité 2,2 : on obtient alors pour $x + p + v$ des valeurs (cf. tableau) beaucoup plus proches des $x + p + y$ de Heiskanen et surtout de Vening-Meinesz. En tout cas, quelle que soit l'hypothèse qu'on choisira, les couples de valeurs adoptées pour la densité et la profondeur n'auront de signification mondiale que s'ils satisfont à la relation globale du type indiquée ici (A).

André CAILLEUX.

BIBLIOGRAPHIE

1. Lejay. — Développements modernes de le gravimétrie. 243 p., 75 fig., Paris. 1947.

2. Goguel. — Introduction à l'étude mécanique des déformations de l'écorce terrestre. 530 p., 177 fig., 2e édit., Paris. 1948.

3. Lagrula (J.) — La prospection gravimétrique de l'Afrique du Nord. *Terres et Eaux*, n° 5, 1948, et n° 7, 1949.

4. De Martonne. — Traité de géographie physique.

5 Kuenen. — Marine Geology. John Wiley, édit., 1950.

6. Vening-Meinesz. — Tables fondamentales pour la réduction isostatique régionale. *Bull. Géod.*, n° 63, 1939, p. 711. Tables for regional and local isostatic reduction, Delft, 1941. — Gravity over the hawaian archipelago and over the Madeira area ; conclusions about the earth crust. *Proc. Ned. Akad. Wet.* XLIV, n° 1, 1941.

7. Heiskanen. — Catalogue of the isostatically reduced gravity stations. — *Publi. Isost. Inst. Intern. Ass. Geod.*, n° 5, Helsinki, 1939.

La Cryoscopie à haute température

par Georges PETIT
Docteur ès Sciences physiques
Chargé de Recherches au C. N. R. S.

(*Suite*)

LA TECHNIQUE

La nature et le choix du solvant

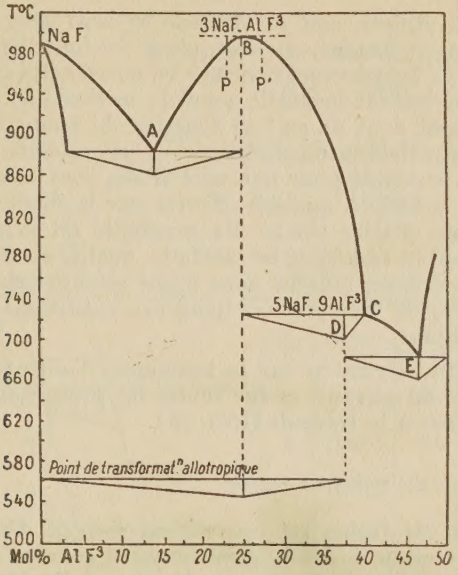
La limite supérieure de température accessible dans les études cryoscopiques, c'est-à-dire le point de fusion le plus élevé que l'on puisse mesurer, n'est en fait déterminée que par des conditions techniques : précision et reproductibilité dans les déterminations de températures, qui font appel à la durée de vie, à la fidélité du système de mesure (thermocouple), à l'altérabilité et la solubilité des divers matériaux au contact soit de l'air, soit du solvant. La température de 1.000 à 1.100° est accessible facilement, grâce au couple Pt-Pt rhodié. Au-delà on sait qu'il évolue assez vite, bien qu'il soit encore utilisable durant des laps de temps d'autant plus courts que la température est plus élevée. Pour de très hautes températures, où l'usage des couples est très délicat, il est certain que les méthodes optiques ne paraissent pas encore suffisamment précises pour de telles études.

Du point de vue de la nature du solvant, le terme haute température englobe de nombreux milieux tels que les métaux, les sels fondus, des corps tels que la silice, etc... Nous n'envisagerons ici que des solvants formés de sels fondus et en particulier des sels des alcalins et alcalino-terreux.

Théoriquement peuvent être utilisés tous les corps définis soit chimiquement, soit thermiquement, c'est-à-dire, tous les milieux, outre les corps purs, correspondant aux eutectiques, et points indifférents des diagrammes thermiques.

Ces résultats obtenus par de nombreux auteurs pour les hydrates salins (Boutaric, Löwenherz, Chalin (4), les eutectiques (Muller (27) dont la fusion aqueuse s'effectue à basse température, sont applicables sans aucune modification aux milieux ignés.

C'est ainsi que la cryolithe utilisée par Rolin (7), puis par nous, correspond au point indifférent du système F^3 Al - FNa (25). Les eutectiques ignés n'ont point encore été utilisés au laboratoire, mais rien n'empêche qu'ils le soient, ni du point de vue théorique, ni du point de vue pratique.



Une condition importante sera de posséder une force ionique très élevée. Ce sel devra donc être ionisé à toutes concentrations, donc être un sel alcalin ou alcalino-terreux.

A ces conditions s'ajoutent des conditions techniques.

1° ne pas posséder au voisinage de la température de fusion, de tension de vapeur élevée, amenant des variations de concentration durant le cours d'une expérience (cas de nombreux fluorures simples) ;

2° être chimiquement stable à la température de fusion (oxydation, par exemple) ;

3° posséder un point de fusion net, c'est-à-dire ne pas entrer facilement en surfusion, ne pas donner de verres. Ce problème est important si l'on songe que les borates, silicates, phosphates qui peuvent être utilisés normalement comme solvants, en donnent très facilement ;

4° posséder une constante cryoscopique suffisamment élevée. Comme nous l'avons vu, ce sont à ce point de vue de très bons solvants cryoscopiques.

Principe de la mesure

Le principe même est classique.

Il consiste à opposer, par un montage potentiométrique, une force électromotrice réglable, exactement connue, à la force électromotrice à mesurer produite par un thermo-couple.

On peut utiliser, soit la méthode de zéro avec compensation exacte à chaque instant, on suit alors en fonction du temps la décroissance de température exprimée en micro-volts sur le potentiomètre, le spot restant immobile ; soit la méthode de déviation continue de ce spot dont on suit en fonction du temps l'évolution sur une échelle préalablement étalonnée en micro-volts. Les qualités exigées pour le couple pour une telle étude, sont essentiellement la sensibilité et la fidélité, qualités offertes par le couple de Le Chatelier au platine, platine rhodié. Sa sensibilité est évidemment assez faible, par contre, sa fidélité est parfaite, qualité essentielle dans une mesure cryoscopique, puisque nous avons essentiellement à mesurer des différences de température dans des conditions de reproductibilité maximum.

Nous n'insisterons ni sur la technique, d'ailleurs délicate, due à l'agressivité du solvant, ni sur toutes les précautions habituelles. Nous renvoyons à la thèse de Rolin (5).

Détermination du point de fusion.

Le point de fusion est conventionnellement déterminé par le point d'intersection T des tangentes aux 2 courbes de refroidissement de la phase liquide d'une part, du mélange liquide solide d'autre part. La dépression thermique est donnée par la différence des ordonnées entre les points T1 et T2 pour 2 déterminations effectuées dans des conditions identiques, l'une pour le solvant pur, l'autre pour la solution, l'échelle millimétrique du graphique étant étalonnée en micro-volts, donc en degrés.

L'étalonnage de l'échelle permet d'établir une relation du type

$$N = \frac{\Delta t}{Km} = \alpha M \frac{\Delta t}{p} = \alpha' \frac{\Delta t}{p}$$

avec α' constante expérimentale du montage, M poids moléculaire du corps dissous, Δt la différence de positions du spot, p le poids de corps dissous. Nous donnons ci-dessous, à titre d'exemple, les résultats expérimentaux donnés par l'enstatite $Si\,O_2$ - O Mg (24).

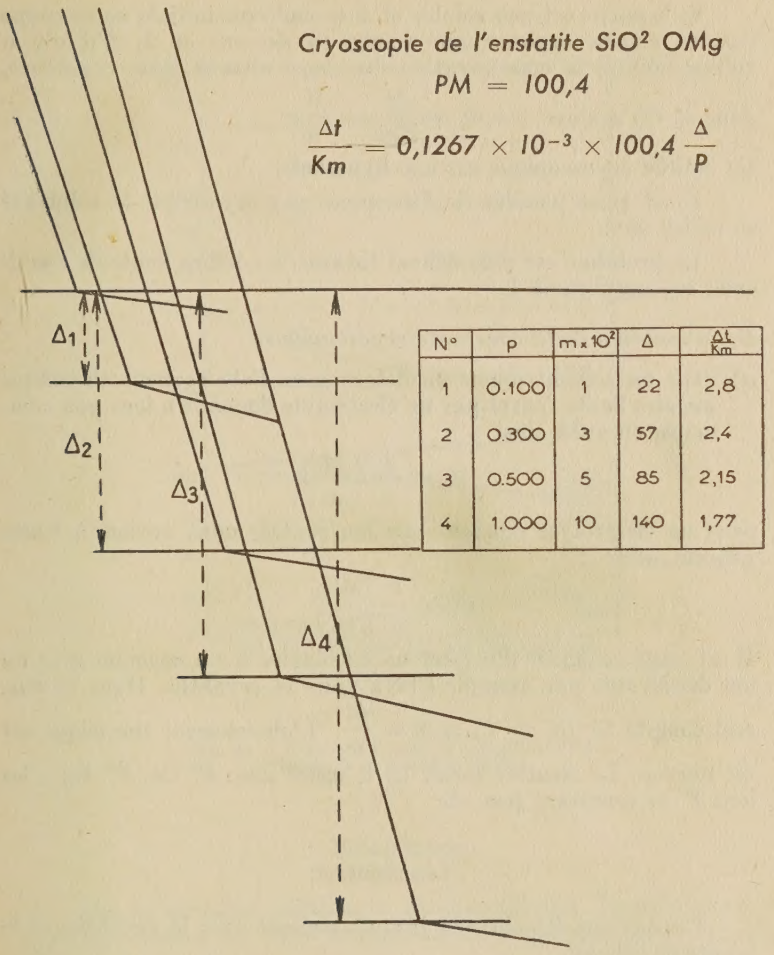
Conditions d'impossibilités dues au corps dissous.

1° volatibilité du corps dissous à la température de fusion du bain ;

2° décomposition thermique, par exemple, certains oxydes de plomb donnent le métal.

Les sels à anions volatils à ces températures (nitrates, sulfates et carbonates) donnent naissance aux oxydes métalliques, comme il est bien connu dans l'industrie du verre.

Cette propriété peut d'ailleurs servir à étudier certains oxydes difficilement préparables eux-mêmes à l'état pur.



N°	P	m x 10^2	Δ	$\frac{\Delta t}{Km}$
1	0.100	1	22	2,8
2	0.300	3	57	2,4
3	0.500	5	85	2,15
4	1.000	10	140	1,77

3° décomposition chimique à la température du bain, du sel ou de l'oxyde :

a) déplacement par le protège-couple en nickel, par exemple, du métal ionisé en solution si ce métal est moins positif que le nickel ;

b) réduction de l'oxyde par le graphite du creuset.

4° Oxydation : cette oxydation est annulée soit par immersion rapide du corps étudié, soit par addition de celui-ci en atmosphère inerte (argon, par exemple).

5° Non solubilité. Ce cas est excessivement rare.

Si le corps est peu soluble et si la molécule initiale ne se coupe pas, la courbe cryoscopique tombe en dessous de 1. S'il n'y a qu'insolubilité, la concentration du corps dissous reste constante, donc Δ. On a alors $n\Phi = \frac{\Delta t}{Km} = \frac{K'}{m}$.

La courbe cryoscopique est une hyperbole.

Il est alors possible de déterminer par cryoscopie la solubilité en milieu igné.

Le problème est plus délicat lorsque le nombre limite de particules est supérieur à 1.

Détermination de la constante cryoscopique.

a) dans un solvant donné on déterminera l'abaissement thermique molaire limite fourni par un électrolyte donnant n ions non communs, on aura ainsi :

$$K = \frac{1}{n}\left(\frac{\Delta t}{m}\right)_0$$

pour un électrolyte donnant une horizontale nous aurons à toute concentration :

$$K = \frac{1}{n}\left(\frac{\Delta t}{m}\right)_m$$

Il est aussi commode d'utiliser un sel binaire à ion commun avec un ion dissolvant, par exemple Cl Na pour la cryolithe. Dans ce cas, seul compte Cl^- ($N = 1$) et $K = \frac{\Delta t}{m}$. L'abaissement thermique est dit normal. Le résultat serait ici le même avec F^2 Ca, F^2 Ba ; les ions F^- ne comptant pas, etc.

Les résultats

Ceux-ci ont été obtenus jusqu'à présent avec la cryolithe et le borate de lithium.

1° *Vérification expérimentale du théorème de Stortenbecker.*

Rolin (7) constate en cryolithe fondue, Zarzicky en milieu borate (33) qu'un ion commun avec un ion du solvant n'a pas d'influence sur la dépression thermique. Par exemple, le chlorure de potassium en solution dans la cryolithe fondue donne $\left(\frac{\Delta t}{m}\right)_0 = 2$. Le chlorure de sodium (Na ion commun), donne une horizontale pour une particule (*fig.* 2). Ces résultats montrent que la cryolithe et le borate de lithium sont ionisés. Ils permettent, d'autre part, de déterminer la constante cryoscopique.

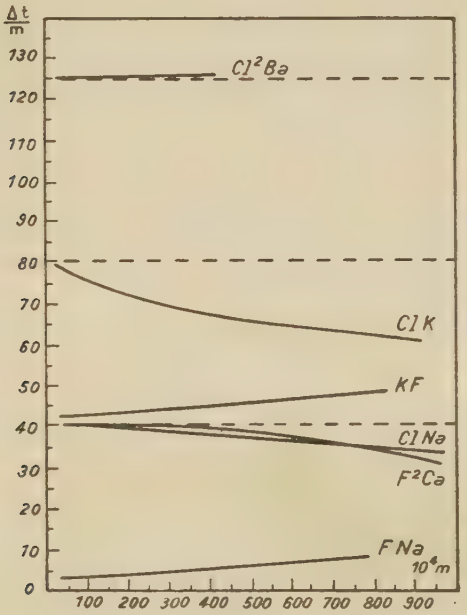


Fig. 2. — Cryoscopie dans la cryolithe fondue. Chlorures et fluorures (Rolin).

Halogénures

Les halogénures alcalins et alcalino-terreux donnent dans la cryolithe fondue des courbes cryoscopiques qui sont assez voisines d'une horizontale.

Structure de la cryolithe

Le théorème de Stortenbecker permet de caractériser non point seulement les ions du corps dissous, mais aussi les ions du solvant.

Rolin (7) a étudié ainsi les courbes données par le fluorure de sodium et le fluorure d'aluminium, ce qui lui a permis d'établir la constitution de la cryolithe fondue.

Le fluorure de sodium produit une dépression extrêmement faible. D'après le théorème de Stortenbecker, il existe donc dans le milieu et il est ionisé, car Cl Na compte pour une particule.

De même le fluorure d'aluminium produit une dépression minime. Il existe donc F^3 Al (sans que l'on puisse dire s'il est ou non ionisé par cette simple détermination).

La dissymétrie du diagramme thermique FNa + F^3 Al au point indifférent, avec caractère tangentiel plus accentué du côté de F^3 Al a suggéré à Rolin une non-ionisation de ce dérivé. Il admet la structure à l'état fondu (7) :

$$(Al\,F^6)^-\ Na^{3+} \rightleftarrows F^3\,Al + 3F^- + 3Na^+.$$

Cependant, personnellement il nous semble que F^3 Al doit être ionisé, ne serait-ce que par suite de la grande différence d'électropositivité du fluor et de l'aluminium. La structure de la cryolithe s'écrivant, suivant nous :

$$(AlF^6)^{3-}\,Na^{3+} \rightleftharpoons F^3\,Al + 3\,F^- + 3\,Na^+$$
$$\Updownarrow$$
$$3\,F^- + Al^{+++}$$

Oxydes

1° Oxyde alcalin.

Rolin (7) a étudié l'oxyde de lithium seul, qui donne une courbe inclinée. La lithine se comporte donc comme un électrolyte faible qui donne à la limite

$$Li^2O \rightarrow 2Li^+ + O^=$$

en présence des constituants de la cryolithe.

Oxydes du type MO (7)

a) *Oxydes de glucinium, de magnésium et des alcalino-terreux.*

Ces oxydes donnent des courbes cryoscopiques qui sont inclinées et tendent vers n = 2 pour une dilution limite. On a donc

$$MO \rightarrow M^{++} + O^=$$

Nous remarquerons que la courbe cryoscopique de la glucine est plus élevée dans la cryolithe que celle des autres oxydes, ce qui suggère une solvatation ou un effet de dimension.

b) *Oxydes de zinc et des métaux de la famille du fer.*

En milieu cryolithique, l'oxyde ferreux et l'oxyde de zinc ne se coupent pas et donnent des horizontales. Les oxydes de nickel et de cadmium donnent des courbes inférieures à l'horizontale unité, ce qui suggère une faible solubilité.

Oxydes du type MO_2

Les oxydes des premiers termes de la colonne ne se coupent pas, ce sont la silice, l'oxyde de titane, l'oxyde de germanium (7). Ce sont des non électrolytes. Les oxydes des éléments plus positifs ; oxyde de zirconium, cérium, uranium, thorium, se coupent (26). Nous remarquerons en particulier que l'oxyde de thorium se comporte comme un électrolyte fort.

Pour ces derniers, nous avons donc :

$$MO^2 \rightarrow M^{+++} + 2O^{=}$$

Oxydes du type $M_2 O_3$

1° *Alumine.* L'étude de l'alumine (7) est intéressante, d'une part, par ses résultats théoriques et, d'autre part, par la lumière apportée grâce à elle à la théorie de la préparation de l'aluminium par le procédé classique de Héroult. Nous rappellerons que c'est pour établir cette théorie que M. le professeur Darmois a suggéré l'application de la cryoscopie dans des milieux fondus à haute température.

Rolin a trouvé expérimentalement les résultats suivants :

a) l'alumine se coupe en donnant *trois particules* à la limite de dilution accessible à l'expérience ;

b) l'ion complexe $(Al\ O^2)^{-}$ est stable, comme le montre l'étude des aluminates, du moins à la limite de dilution possible.

D'après cet auteur, les ions donnés par l'alumine dissoute seraient pour une faible molarité

$$(AlO^2)^{-},\ Al^{+++},\ O^{=}$$

2° *Anhydride borique* (7).

L'anhydride borique se coupe, mais ne tend vers 3 à la limite que très difficilement, dans une zone de dilution où les résultats expérimentaux deviennent douteux.

Rolin trouve pour l'anhydride borique une courbe cryoscopique tombant rapidement au-dessous de 2, nous avons trouvé, par contre, une chute moins prononcée à partir de cette valeur, presque un palier pour $n = 2$.

Cet auteur a pu montrer qu'il se produisait effectivement un ion bore grâce à l'électrolyse de solutions d'anhydride borique dans la cryolithe qui détermine une production de bore métalloïdique à la cathode. Ceci indiquerait qu'il y a donc coupure en 3 particules comme pour l'alumine.

D'un point de vue pratique, nous constatons un mode de préparation simple d'un métalloïde qui, jusqu'à présent, était très dif-

ficile à obtenir. C'est là le premier indice que nous ayons des applications pratiques de ces investigations théoriques.

3° *Oxyde de lanthane* (24).

Nous avons étudié l'oxyde de lanthane dans le but de constater ce que donnerait un oxyde de ce type, mais à métal très positif. On sait, en effet, que de ce point de vue le lanthane est très voisin des alcalino-terreux.

On obtient, à la limite de dilution 5 particules, mais la courbe baisse très rapidement, jusqu'à 3, où il se produit une baisse très lente, pratiquement un palier.

Nous pouvons, semble-t-il, penser, que l'oxyde de lanthane se coupe par un mécanisme tout d'abord analogue à celui de l'alumine et qu'ensuite à plus faible dilution l'ion complexe se dissocie lui-même.

4° *Oxydes de fer, de gallium et de cobalt.*

Les résultats sont très voisins de ceux qui sont donnés par l'alumine. Nous remarquons simplement que l'oxyde de fer donne une courbe cryoscopique plus élevée que celle de l'alumine.

Oxydes MO_3 (Oxyde de molybdène, tungstène, uranium)

Ces oxydes, comme nous l'avons constaté (travail non publié), ne se coupent pas. D'autre part, ils sont peu solubles et sont réductibles par le carbone du creuset, si bien qu'une courbe cryoscopique est pratiquement très difficile à établir. Tout ce que l'on peut dire c'est qu'à la limite ils donnent une particule.

Aluminates

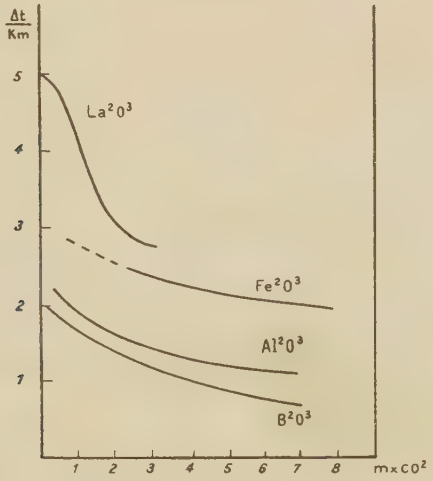
Rolin met en évidence la stabilité de l'ion $(AlO^2)^-$; il a étudié les aluminates alcalins et alcalino-terreux qui donnent des horizontales révélant un électrolyte fort.

Les silicates

Nous avons étudié (24) quelques silicates naturels : la fayalite $Si\ O^2$. 2 OFe, l'enstatite $Si\ O^2$, OMg, l'émeraude $6SO^2$. $O^3\ Al^2$. 3O Gl, le talc 4 $Si\ O^2$. 3O Mg, le kaolin 2 $Si\ O^2$. $Al^2\ O^3$, le zircon, $Si\ O^2$. ZrO^2, le diopside 2 $Si\ O^2$. OCa. OMg.

La dissolution de ces corps détermine à la limite de dilution accessible à l'expérience, une dépression du point de fusion suggérant un nombre de particules finales égales à la somme : silice + oxyde ou mélange d'oxydes métalliques, ce mélange d'oxydes se comportant comme nous le verrons dans l'étude de la salification.

C'est ainsi, par exemple, qu'à la limite la fayalite se comporte comme un mélange de silice et d'oxyde de fer, l'enstatite comme un mélange de silice et de magnésie, c'est-à-dire de silice, d'ion oxygène et d'ion magnésium, etc...



L'émeraude nous offre un cas particulier complexe ; elle donne 13 particules à la limite, ce qui s'explique en écrivant la suite de réactions :

a) $6\ Si\ O_2\ .\ Al_2\ O_3\ .\ 3\ OGl \rightarrow 6\ Si\ O_2 + Al_2\ O_3 + 3\ OGl$ (coupure)

b) $Al_2\ O_3 + 3\ OGl \rightarrow 2\ (Al\ O_2)^- + Gl^{++} + 2\ OGl$ (formation d'aluminate)

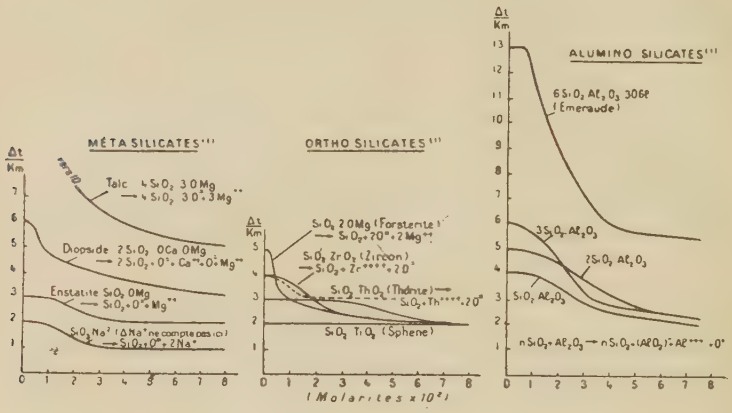
c) $2\ OGl \rightarrow 2\ Gl^{++} + 2\ O^=$.

Ce qui finalement donne :

$6\ Si\ O_2 + 2\ (Al\ O_2)^- + 3\ Gl^{++} + 2\ O^=$ soit 13 particules.

Ce résultat nous a suggéré que ces silicates naturels devaient se comporter comme un mélange artificiel silice + oxyde métallique. Nous avons donc étudié quelques-uns de ces mélanges intéressants par leurs teneurs en éléments constituants et correspondant à celles de silicates naturels, tels que sphène $Si\ O^2\ Ti\ O^2$, forstérite $Si\ O^2\ .\ 2\ OMg$, thorite $Si\ O^2\ .\ ThO^2$, auxquels nous avons ajouté le métasilicate de sodium. Nous avons vérifié sur une enstatite naturelle ($Si\ O_2\ OMg$) et sur un mélange artificiel de même composition, l'identité des courbes cryoscopiques obtenues dans l'un et l'autre cas.

Nous signalerons l'existence de paliers dans le cas des courbes cryoscopiques des monosilicates ; paliers assez nets qui suggèrent l'hypothèse de la formation pour une molarité faible mais non limite d'un ion métasilicique. Il semble qu'à ces faibles dilutions le



silicate de sodium donne une droite horizontale, comme les aluminates et borates. Mais par dilution l'anion $[Si\ O^3]^=$ se couperait en donnant lieu à :

$$(Si\ O^3)^= \rightarrow Si\ O^2 + O^=$$

Pour le silicate de thorium, la courbe allant de 4 à 3 particules, nous aurions :

$$Si\ O^2 + Th\ O^2 \rightarrow Si\ O^2 + Th^{++++} + O^= + O^= \rightarrow (Si\ O^3)^= + Th^{++++} + O^=$$

Ce dernier résultat montre qu'il n'y a point formation d'ion $(Si\ O^4)^=$ du moins aux dilutions étudiées. La courbe aurait, en effet, donné un palier pour 2. Ces paliers ne se produisent d'ailleurs que dans les cas où l'oxyde lui-même est très fortement ionisé. Dans le cas d'un oxyde faible (OMg) le palier ne se retrouve pas, il est possible que, dans ce cas, il se forme une molécule non ionisée et toute une série d'équilibres simultanés, ce qui arrive vraisemblablement chez les poly et aluminosilicates.

OXYDES SALINS - Sels en solution ignée

La salification.

Considérons l'alumine qui, en solution cryolithique donne, seule, une courbe croissant lentement vers n = 3 à la limite de dilution. Considérons de même la magnésie qui croît de même lentement vers 2.

Faisons un mélange équimoléculaire de ces deux oxydes.

La courbe cryoscopique de ce mélange n'est pas la résultante des courbes cryoscopiques des composants. Nous obtenons une horizontale pour trois particules.

Le nombre de particules à la limite n'est point la somme des nombres de particules des systèmes constituants.

Il s'est donc formé un aluminate de magnésium suivant le schéma

$$(AlO^2)^- + Al^{+++} + O^= + O^= + Mg^{++} \rightarrow (AlO^2)^{2-}\ Mg^{++}$$

Ce résultat, qui peut d'ailleurs être étendu à d'autres réactions, nous offre l'exemple d'un système captant un ion oxygène pour donner un ensemble stable, exemple typique de salification, de réaction chimique décelée par l'analyse cryoscopique. Voyons maintenant le cas du métasilicate de sodium qui, comme nous l'avons vu, donne pour une molarité faible mais non limite un palier correspondant à la formation d'un ion $(Si\ O^3)^=$. A plus faible dilution la montée de la courbe cryoscopique indique, comme nous l'avons vu, une dissociation en silice et ion oxygène.

La formation de métasilicate de sodium s'écrira donc :

$$Si\ O^2 + O^= + 2\ Na^+ \rightarrow (Si\ O^3)^=\ Na^{2++}$$

Nous voyons que la salification dans tous ces cas est le transfert d'un ion oxygène à un ion ou à une molécule de façon à former un anion.

D'une façon générale, nous dirons qu'un oxyde est acide lorsque soit lui-même (silice), soit un système poly-ionique auquel il donne naissance, est capable de capter un ion oxygène pour donner un ion négatif stable. Un acide est un accepteur d'ion oxygène.

De même nous dirons qu'un oxyde est alcalin ou basique, lorsqu'il émet un ion oxygène.

Force d'un acide.

Un oxyde sera d'autant plus acide qu'il aura plus tendance à capter un ion oxygène. Par exemple, dans le système

$$(MO^2)^- + M^{+++} + O^=$$

l'oxyde sera d'autant plus acide que l'ensemble di-ionique $M^{+++} + O^=$ aura plus tendance à donner un anion $(MO^2)^-$.

Un oxyde d'un type donné sera donc d'autant plus acide que sa courbe cryoscopique sera plus basse, par exemple, l'anhydride borique est plus acide que l'oxyde ferrique.

Nous pouvons comparer l'acidité d'oxydes de types différents, par exemple, il semble bien que l'ion (AlO^2) ou l'ion $(BO^2)^-$ soient stables aux dilutions compatibles avec la cryoscopie, par contre, l'anion $(Si\ O^3)^=$ est instable aux très faibles molarités ; nous dirons

donc que la silice est moins acide que l'alumine. Les résultats donnés par la silice se retrouvent vraisemblablement avec l'oxyde de titane et l'oxyde de tungstène (Mergault, travail non publié). Un oxyde acide sera donc essentiellement un oxyde peu clivable.

Force d'une base.

Une base sera d'autant plus forte que la concentration en ion oxygène qu'elle émet sera plus élevée, pour une même molarité, par exemple, l'oxyde de thorium est une base forte, O Mg une base faible. L'étude de l'oxyde de lanthane révèle que l'ion $(La\ O^2)^-$ est labile, donc que la tendance à capter un ion oxygène est négligeable vis-à-vis de la tendance à donner cet ion. Cet oxyde sera donc très basique. Il est aisé de constater que cette acidité, fonction de l'affinité pour un ion oxygène et cette basicité qui en est l'inverse, sont fonctions de l'électro-affinité. Un oxyde sera d'autant plus acide que son élément caractéristique sera plus électro-négatif.

Corps amphotère.

Ce sera tout un système accepto-donneur d'ion oxygène, la silice est simplement acide. Le système $(MO^2)^{--} + M^{+++} + O^{=}$ est amphotère. Un système étant d'autant plus acide qu'il aura plus tendance à donner : $(MO^2)^{--} + (MO^2)^{+}$.

Les résultats de Rolin pour l'acide borique mettant en évidence un départ de 2, puis une chute indiquant que ce corps est peu ou pas amphotère, surtout acide, alors que l'alumine est réellement amphotère.

Applications.

L'étude de la salification est aisée lorsqu'il se produit un électrolyte fort, c'est-à-dire lorsque la courbe cryoscopique des mélanges d'oxydes est une droite horizontale qui contraste par son allure avec les courbes cryoscopiques inclinées des oxydes constituants.

Nous avons là l'exemple d'une technique purement cryoscopique permettant d'établir une véritable chimie aux hautes températures.

Mais cette étude n'a pas seulement un intérêt théorique de détection d'une naissance d'un corps, elle a aussi un intérêt pratique. Considérons, par exemple, l'oxyde d'étain qui est très faiblement alcalin, sa courbe cryoscopique, comme nous l'avons montré (24), tombe très rapidement. Ajoutons un oxyde acide tel que l'anhydride borique, il va se former un borate d'étain détecté par sa courbe cryoscopique, électrolyte fort avec étain totalement ionisé. La concentration en ions métalliques est augmentée par la salification et elle permet sans doute d'améliorer les conditions pratiques d'obtention d'une électrolyse rapide.

Cas des oxydes non ionisés spontanément.

Il est très intéressant de se demander si un oxyde acide peut prendre un ion oxygène à un oxyde qui ne se coupe pas spontanément.

Ce problème n'a pas été résolu encore d'une façon certaine. Des travaux sont en cours actuellement au laboratoire. En particulier le système anhydride borique-oxyde métallique donne fréquemment une horizontale, mais comme l'anhydride borique s'écarte relativement peu d'une horizontale pour $n = 2$, et que l'oxyde métallique donne par hypothèse une horizontale pour une particule, la courbe cryoscopique du mélange ne donne pratiquement aucun renseignement.

Dans ce cas, seule peut décider une électrolyse.

Oxyde salin.

Des considérations de ce type peuvent être envisagées dans l'étude des oxydes salins.

L'oxyde magnétique de fer $Fe^3\ O^4$ ne se comporte pas dans la cryolithe comme un oxyde salin, mais comme la juxtaposition de l'oxyde ferrique et de l'oxyde ferreux (7). Ceci s'explique :

1° par le caractère peu acide de l'oxyde ferrique $Fe^2\ O^3$ dont la courbe cryoscopique est très au-dessus de celle de l'alumine ;

2° par la non ionisation de O Fe qui n'est pas donneur.

Influence de la température.

Si, comme tout semble le suggérer, bien que ce résultat soit encore seulement du domaine des faits très probables, mais non encore bien vérifiés, l'oxyde métallique se coupe d'autant mieux que la température est plus élevée, nous dirons que l'acidité décroît avec l'augmentation de la température, et inversement pour l'alcalinité l'existence d'un oxyde salin n'est concevable que dans un intervalle thermique, en deçà et au-delà duquel sa formation n'est plus possible.

De plus, tout oxyde non clivable peut être coupé à température plus élevée, d'où l'importance pour la détermination des conditions thermiques de préparation du métal par électrolyse.

Mécanisme de l'électrolyse

Le mécanisme de l'électrolyse est très simple. L'ion métallique se décharge sur la cathode. A l'anode se décharge l'ion oxygène, ou l'ion complexe $(MO^2)^{--}$ qui, par exemple, en se déchargeant, donne $\frac{1}{2}\ (M^2\ O^3 + O^=)$.

L'oxygène se dégage et $M^2\ O^3$ rentre dans le cycle.

L'équilibre se détruisant graduellement.

Remarque. — L'hypothèse de l'existence d'un ion métal en solution implique le fait d'une ionisation du fluorure puisque nous sommes en présence d'un ion fluor en excès.

Nous rappellerons que l'ionisation peut être admise par suite

a) de la négativité maximum du fluor ;

b) de la *non-rétrogradation d'ionisation dans les mélanges d'électrolytes forts à ion commun* (ici non-rétrogradation d'un fluorure en présence de fluorure de sodium.

C'est ainsi que Muller a montré une ionisation totale des sulfates alcalins dissous dans l'eutectique glace-sulfate de potassium (27).

En résumé, toutes les théories applicables aux solutions stables à la température ordinaire et en conséquence les expériences correspondantes sont applicables à l'étude des solutions à haute température. Il semble bien que les phénomènes y soient plus simples qu'en phase aqueuse, par contre, les manipulations y sont plus délicates. Toute détermination (de constante diélectrique, conductibilité, mobilité des ions, etc...), qui en solution aqueuse est classique, soulève là de très difficiles problèmes de matériel et de technique qui n'ont pas encore été certainement résolus. Il est heureux que la cryoscopie ait pu être abordée d'une façon relativement aisée.

Conséquences pratiques

Les conséquences pratiques d'une telle étude sont considérables. Elles nous indiquent les conditions de préparation d'un élément par voie électrolytique en milieu igné.

Le fait que tout dérivé d'un élément quelconque donne en solution dans un sel fondu les ions de cet élément, indique que ce dernier peut être préparé par électrolyse directe de la solution considérée. C'est ainsi que nous pouvons prévoir, outre les préparations de l'aluminium et du magnésium qui sont classiques par cette voie, celles des métaux positifs alcalins et alcalino-terreux, vues théoriques pour ces derniers, puisque leur préparation pratique est plus simple encore, mais qui deviennent d'un extraordinaire intérêt lorsque nous considérons que nous pouvons préparer par électrolyse de leurs oxydes en solution dans la cryolithe fondue le fer et les métaux de sa famille, le bore, ainsi que le thorium, l'uranium, le zirconium, le cérium, l'étain, le lanthane.

D'après les rapports existants entre la coupure et la positivité, nous pouvons prévoir que la famille des actinides peut être préparée par électrolyse de l'oxyde ; de même le hafnium (compris entre le thorium et le zirconium dans la classification de Mendelejeff. Les premiers termes de la famille des lanthanides peuvent très vraisem-

blablement être préparés de même à partir des oxydes, tout au moins les métaux les plus voisins du lanthane quant à la positivité. La coupure de l'oxyde indique que tout sel à anion volatil à la température considérée peut être utilisé. Tels que carbonates, nitrates, sulfates, si la température est assez élevée.

Il est donc possible, en principe, de préparer, par exemple, par électrolyse directement, le calcium à partir de la craie.

Les résultats cryoscopiques nous indiquent que les éléments dont les oxydes ne se coupent pas ne peuvent être préparés par électrolyse directe, ce sont : le silicium, le titane à partir de $Ti\,O^2$, le molybdène, le tungstène à partir de MO^3, le zinc ; le fer et le nickel à partir de leurs protoxydes.

Cependant, pour certains éléments assez positifs tels que le zinc, il est vraisemblable de songer que la salification par addition d'oxyde acide donnant un sel stable à haute température, permettra l'électrolyse directe.

Les études entreprises sur les silicates indiquent qu'en principe, par simple dissolution dans la cryolithe fondue, ceux-ci doivent pouvoir donner lieu au dépôt cathodique par électrolyse directe, lorsque les oxydes correspondants sont ionisables.

En principe donc il est possible, par exemple, de préparer l'aluminium et le magnésium à partir de certains silicates naturels.

Il est évident que ce n'est qu'en principe, car nous ne devons pas oublier que ces métaux peuvent agir sur la silice, ce qui pose évidemment certains problèmes techniques que nous n'avons pas à aborder ici. Ainsi, la cryoscopie à haute température paraît essentiellement apte à prévoir les applications, les généralisations de l'électrolyse en milieu igné. Elle est la technique pilote de l'électrométallurgie. Est-il besoin de souligner que celle-ci représente la métallurgie de l'avenir comme le laisse prévoir la production massive future d'énergie électrique grâce aux techniques atomiques.

Il est ainsi permis de penser qu'un jour peut-être, la métallurgie de presque tous les métaux, en particulier celle du fer, sera calquée sur celle de l'aluminium et que nous n'assisterons plus à ce gaspillage d'un agent chimique précieux qui ne peut aller qu'en se raréfiant, le charbon.

Ainsi, la cryoscopie à haute température représente la technique de choix dans la recherche structurale d'états liquides très spéciaux, intéressant la grosse métallurgie, ce qui, suivant nous, est le gage de son développement futur.

G. PETIT.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

Théorie des solutions

Exposés d'ensemble : Thermodynamique des solutions.

E. Darmois : Solution. Solubilité. Thermodynamique des solutions. — *Journal de physique et du radium*, juillet 1943. — L'état liquide. — Albin Michel, Paris, éditeurs.

Nouvelles théories sur les électrolytes :

Activité :

Lewis et Randall : Thermodynamics.

Activité ionique :

Debye et Huckel : Physik Z. 24/ 185 — 334 (1923)
25/ 97 (1924)

Exposés en français :

1° Eugène Darmois :

a) Leçons sur la conductibilité des électrolytes. — Paris, Vuibert, 1929.

b) Progrès récents dans l'étude des électrolytes. — *Bull. Union des Physiciens*, oct. 1927. — Mairs, 1928.

c) Remarques sur la théorie des solutions concentrées de sels. — *Bull. Soc. Fr. de Physique*, mars 1929.

d) Ions ou molécules en solutions concentrées. — Réunion internationale de Chimie Physique, Paris, octobre 1928.

e) Les électrolytes forts. — Congrès international d'électricité 1932, vol. II, première section, pp. 105-129.

f) L'activité des solutions électrolytiques. — Hermann, édit., 1943.

g) L'état liquide de la matière.

2° Glasstone : Electrochimie des solutions. — Alcan, édit., Paris.

3° Jean Timmermans : Les solutions concentrées. — Masson et Cie, édit.

Lois de Raoult : Raoult C. R. 22 juillet 1898. — Conf. Soc. Chim. de France, 18 mai 1894.

E. Darmois : Les lois de Raoult et leur aspect moderne. — B. S. C., 17-1-1950. Thermodynamique des solutions.

Yves Doucet : Thèse doctorat ès Sciences Physiques, Paris, 1942.

Nous n'avons cité ici que les références des exposés très approfondis, ou d'un intérêt historique en français. Pour des exposés classiques nous renvoyons aux cours des Facultés (en particulier livre d'Audubert et Mlle Quintin) ou aux ouvrages de Chimie Physique habituels.

BIBLIOGRAPHIE PARTICULIÈRE

1. Goodwinn et Kalmus : Phys. Rev. 1909.
2. E. Darmois et J. Perin : C. R. 177, p. 762 (1923).
3. E. Darmois et J. Cessac : C. R. 191. 1091 (1930).
4. E. Darmois et R. Chalin : C. R. 195, 786 (1932).
5. E. Darmois : Bull. Union des Physiciens, 1923, pp. 193-199.
6. E. Darmois et M. Rolin : Journal de Physique et du Radium, 11, 1950, p. 89.
7. M. Rolin : *a*) Thèse de doctorat ès Sciences Physiques, Paris, 1950.
b) C. R. 229, 933 (1944).
c) Revue de Métallurgie, XLVIII n° 3, 1951.
8. Raoult : C. R. 22 juillet 1878.
Conf. Soc. Chim., 18 mai 1894.
9. Van't Hoff : Z. Phys. Chem. 1887 - 1 - 481.
10. Arrhénius : Z. Phys. Chem. 1887, 631.
11. E. Darmois : La thermodynamique des solutions.
Le journal de physique et le radium, juillet 1943 et suite.
12. Timmermans : Les solutions concentrées. — Masson, édit., Paris, 1936.
13. E. Darmois : Activité des solutions électrolytiques. — Hermann, édit., Paris.
14. Lewis : Z. Physik. Chem. 61, 129 (1908).
15. Lewis et Randall : Thermodynamics, 1923.
16. Debye et Huckel : Physik. Z. 24, 185, 334 (1923).
Rec. trav. chim. 42. 597 (1923).
Physik. Z. 25, 97 (1924).

Voir aussi : Noyes : J. Am. Chem. Soc. 46, 1080 (1924).
Voir aussi : Glasstone : Electrochimie des solutions. Traduction française. Alcan, édit., 1936.
Voir aussi : les références (17) (18) (19).

17. E. Darmois : L'activité dans les solutions électrolytiques. — Hermann, édit., Paris.
Bull. Union des Physiciens 1927/1928.
18. E. Darmois : Les lois de Raoult et leur aspect moderne. — Bull. Soc. Chim. (5), 17 - 1 - 1950.
19. E. Darmois : Bull. Union des Physiciens 1927/1928.
20. Stortenbecker : Z. Physik. Chem. 1892.
Pour la démonstration voir E. Darmois (17) et (11).
21. E. Darmois : Bull. Soc. Française des Electriciens (7), 1, n° 4.
22. Geneviève Sutra : Résultats récents concernant la constitution des ions électrolytiques. — Rev. Gén. Sc.
23. L. Pauling : The Nature of the Chemical Bond. — Cornell University Rev. 1945.
24. Georges Petit : C. R. 233, p. 615 (1951).
25. Fedotieff et Iljinsky.
26. Eugène Darmois et Georges Petit : C. R. 232, 1555 (1951).
27. Muller : Thèse de sciences physiques. — Paris, 1937.
28. G. Sutra et E. Darmois : Journal de Physique et le Radium. 12, 97 (1951).
29. Y. Doucet : Thèse de doctorat ès Sciences Physiques. — Paris, 1942.
30. E. Darmois : La déformation des ions et de la combinaison chimique. — Bull. Soc. Chim. 1931, p. 329.
31. E. Darmois : J. de Phys. (1941), 2.
32. Mémorial des Sciences Physiques. Fasc. 48, 1946.
33. Zarzycki : C. R. 233 (1951).

TROIS QUESTIONS

I

Le règne de principes à priori, la tendance à rattacher les progrès scientifiques à l'influence d'idéologies, conviennent-ils à l'Histoire des Sciences ? Apportent-ils quelque élément d'objectivité historique ? (Cf. Archives internationales d'Histoire des Sciences, n° 17, oct. 1951, p. 879-883.)

II

J'ignore si l'on a parfois cité des commentateurs d'Euclide en omettant le nom d'Euclide lui-même. Je pose la même question pour la période récente, en remplaçant Euclide par un pionnier de la microphysique (pleine liberté garantie aux bibliographes).

III

après des joutes souvent passionnées, pour élire un savant, n'a-t-on pas plaisir à reconnaître qu'il est d'autres moyens de rendre hommage ? (Cf. Bull. de la Soc. Math. de France, t. 79, année 1951.)

G. BOULIGAND.

Evolution de la notion de vitamine : des facteurs de croissance aux bactériostatiques par antagonisme structural

par J. A. GAUTIER

Professeur à la Faculté de Pharmacie de Paris (*)

On peut se demander s'il n'est pas paradoxal d'aborder en 1949 le problème des vitamines qui semble avoir depuis longtemps livré tous ses secrets, et s'il n'y a pas gageure à vouloir résumer cinquante ans de recherches cruciales en autant de minutes. La réponse à cette question n'est pourtant pas évidente ; dans un domaine aussi riche en acquisitions quotidiennes, il n'est peut-être pas mauvais qu'une mise au point confronte, sur un même plan, les résultats vieux d'un demi-siècle, avec les dernières idées du jour ; il n'est peut-être pas mauvais non plus que cet essai de synthèse soit le fait d'un non-spécialiste, apte à embrasser ce tableau en raccourci, sinon de haut, du moins d'assez loin.

On excusera donc les lacunes inévitables de cet exposé ; elles seront dues autant à la nécessité d'abréger qu'à la compétence limitée de son auteur ; et celui-ci s'estimera satisfait s'il parvient seulement à montrer la suite logique des travaux qui conduisit les chercheurs depuis le « facteur d'entretien » de Funck jusqu'à la notion d'antivitamine et à la thérapeutique antimicrobienne au moyen des médicaments sulfamidés.

Pour développer logiquement notre sujet, il sera indispensable d'abord de jeter un rapide coup d'œil en arrière et de faire un bref historique des faits qui ont amené à découvrir les vitamines ; puis nous verrons les différentes étapes qui, au cours des vingt ou trente dernières années, ont permis de préciser leurs propriétés : individualisation puis isolement physique des vitamines et établissement de leur constitution chimique ; ce dernier stade de la connaissance nous introduira naturellement à l'aspect pharmacodynamique de la question ; ce nous sera une occasion de reconnaître l'existence de rapports, d'ailleurs encore bien mystérieux, entre l'activité et la structure chimique, rapports qui ouvrent la voie vers les horizons fructueux d'antivitamines et — qui sait ? — de composés synthétiques à propriétés vitaminiques améliorées, qui seraient aux vitamines naturelles ce que sont à la cocaïne la stovaïne ou la novocaïne.

(*) Conférence prononcée le 15 décembre 1949 devant la Société de Technique Pharmaceutique (Faculté de Pharmacie, Paris).

Les Avitaminoses. — On peut dire que l'histoire des vitamines, qui ne débute réellement qu'avec notre siècle, existait en puissance depuis des âges fort reculés : entendons par là que les carences alimentaires ont été reconnues bien avant ce XIX^e^ siècle, qui devait donner à presque toutes les sciences de la Nature une impulsion décisive ; il n'est d'ailleurs que banal de remarquer que la maladie précède toujours de loin le développement de la thérapeutique.

L'antiquité, le moyen âge, eux-mêmes ont connu ces fléaux qui affectaient soit une région soit une époque particulières et qu'on nomma plus tard scorbut ou béri-béri ; l'on trouve, dit-on, du premier, de bonnes descriptions dans Hippocrate et dans Pline. Mais ce n'est qu'en des temps relativement proches de nous que l'homme, cessant de considérer ces maux comme une punition divine ou une malédiction impossible à parer, tenta de leur appliquer les ressources de la médecine naissante. Ce qui frappe lorsqu'on examine l'histoire de ces maladies, c'est que, loin de rétrocéder à l'époque moderne en fonction des progrès de l'hygiène, elles parurent redoubler leurs sévices au fur et à mesure que s'installa la civilisation.

Nous savons la raison de ce paradoxe : l'homme des temps anciens ou médiévaux n'avait nulle tendance à violenter la Nature ; il se nourrissait des produits bruts du sol, des forêts, des rivières ou des mers ; il n'en fut plus de même dans les âges suivants : nos pères apprirent à conserver les aliments pour en accumuler des réserves et se ménager des loisirs ; ils apprirent à les transformer afin que, ses sens s'étant développés et éduqués, ils pussent varier leurs sensations gustatives. La cuisson des mets, la préparation de boissons fermentées illustrent cette évolution. Qu'arriva-t-il alors ? Incapables désormais de se contenter des seuls produits naturels auxquels l'organisme s'était accoutumé au cours des millénaires, ignorant des lois rationnelles de l'alimentation, l'homme négligea certains principes indispensables qui se trouvèrent éliminés de sa nourriture. En dépouillant les graines de riz de leur écorce, il se priva de vitamine antinévritique, et ce fut le béri-béri ; en adoptant pour ses voyages en mer, l'usage exclusif des conserves, il cessa de recevoir sa ration de vitamine C, — et ce fut le scorbut ; en se protégeant du soleil il vint à manquer de vitamine D, — et ce fut le rachitisme. Ainsi donc, alors que les avitaminoses étaient, à l'origine, localisées — comme la pellagre dans les « pays à maïs » — elles tendirent désormais à gagner les contrées réputées indemnes, et, chose en apparence paradoxale, à commencer par les populations les plus évoluées.

Passons maintenant aux générations plus proches de nous : nous allons reconnaître un facteur supplémentaire de carence. Vers le milieu du siècle dernier, Pasteur convertissait l'univers scientifique à sa doctrine et prêchait la croisade contre les microbes. Or, l'application des théories pastoriennes eut une conséquence imprévisible : la chasse aux microorganismes, entraînant, comme corollaire, l'abus de la stérilisation, ne fit que contribuer à propager les carences

En tuant les microbes, les procédés physiques utilisés neutralisaient du même coup maints principes fragiles et pourtant indispensables à la vie. Si les infections rétrocédaient, les affections florissaient ; ainsi en va-t-il dans le progrès matériel : bien souvent l'on évite un écueil que pour achopper sur un autre, plus inattendu.

*
**

Durant cette longue suite d'initiatives aux conséquences funestes, les chercheurs n'étaient pas, Dieu merci, demeurés passifs, et la vérité sur les principes alimentaires inconnus se faisait jour progressivement. Dès 1671, le Français Nicolas Venette avait reconnu un lien entre l'apparition du scorbut et la privation en végétaux frais. En 1889, le médecin hollandais Eijkman avait trouvé que les volatiles qui, dans la basse-cour de la prison de Java partageaient avec les prisonniers le même ordinaire de riz décortiqué, partageaient aussi les mêmes symptômes alarmants de béri-béri ; cette constatation l'amena à affirmer l'existence, dans la polissure du riz, d'un principe nécessaire à la santé animale. Ainsi, s'introduisit lentement, mais sûrement, l'idée de ce que nous nommons le avitaminoses.

Physiologie de la Nutrition. — Le travail fut d'ailleurs facilité aux hygiénistes et aux médecins grâce aux résultats obtenus par les physiologistes et les chimistes ; les progrès de la jeune Chimie Organique allaient les amener, dans ce souci de simplification qui est à la base de toute science, à classer les aliments d'après leur nature chimique. Il fut reconnu que, en dépit de leur origine diverse et de leurs caractères extérieurs dissemblables, les aliments non exclusivement minéraux pouvaient être ramenés à trois types seulement : les albuminoïdes que nous nommons maintenant protides ; les hydrates de carbone, nos glucides ; les graisses, ou lipides. Magendie est à l'origine de longues recherches qui, de 1820 à 1850, montrèrent l'activité comparée de ces différentes classes dans le maintien de l'équilibre sanitaire. Ses mémoires de 1836 sur « l'origine de l'azote des organes » firent époque en la matière ; on se souvient qu'ils concluaient à la précellence de l'aliment azoté ; leur auteur ajoutait d'ailleurs cet aphorisme, qui porte bien avec lui la marque de son époque : « Seuls les corps qui ont joui de la vie sont susceptibles de maintenir la vie. »

Les acquisitions de Magendie et de ses successeurs ne tardèrent pas à faire connaître des « types de régime » qui, compte tenu de la valeur énergétique déterminée pour chaque constituant, devaient représenter des rations où glucides, lipides, protides et sels minéraux concouraient au maintien d'un équilibre sanitaire harmonieux. On aboutissait ainsi à la fameuse « pilule alimentaire » chère à Marcellin Berthelot, lequel manifestait une tendance excusable à ramener

toutes choses à la seule chimie organique ; voici d'ailleurs l'exemple d'un de ces régimes :

caséine purifiée	22 %
amidon	42 %
saccharose	21 %
saindoux	12,4 %
sels minéraux	2,6 %

Les choses se gâtèrent quand on voulut passer de la théorie à la pratique : les usagers de la pilule idéale mouraient opiniâtrement... C'est donc qu'il y manquait quelque principe oublié : effectivement, on obtenait la survie en ajoutant un peu de lait — sauf s'il était préalablement porté à 120° C ; ou encore, avec l'appoint de pain bis — sauf s'il était épuisé par l'alcool chaud ; mais les animaux résistaient si l'extrait alcoolique était réajouté !

Toutes ces expériences, de même que les observations cliniques sur les avitaminoses, convergeaient vers une même explication : il fallait compter avec un *indéterminé alimentaire* recélant des substances indispensables et fragiles qui échappaient aux analyses les plus subtiles des chimistes.

C'est alors que furent prononcés les noms de « facteurs d'entretien », indispensables à la survie ; « facteurs de croissance », nécessaires pour le développement des individus ; le terme qui prévalut fut le mot « vitamine », par quoi Funck nomma, en 1912, la substance azotée qu'il venait de reconnaître dans le son du riz ; c'était notre vitamine antinévritique, l'un des facteurs du groupe B.

La notion de vitamine vers 1920. — Cet historique raccourci peut sembler superflu, et je m'excuse de ce préambule tant les faits rappelés apparaissent aujourd'hui classiques et banaux ; du moins nous a-t-il conduits jusqu'à ce début du xx^{e} siècle où s'introduit réellement pour la première fois la notion de vitamine. Il nous incline aussi à « faire le point » des lumières acquises sur cette question, vers ces années 1910-1920 où nous sommes arrivés.

Que savait-on des vitamines aux environs de l'époque de Funck ? Encore bien peu de choses. La réalité de ces entités mystérieuses était désormais hors de doute ; l'on savait qu'il existait sans doute plusieurs vitamines, chacun palliant à une avitaminose donnée ; elles devaient être réparties, en très faibles proportions, chacune électivement dans certains aliments propres ; les unes étaient solubles dans l'eau, les autres dans l'huile ; elles agissaient à dose infime et le plus souvent montraient la même fragilité que les organismes vivants, résistant mal à la chaleur et aux agents physiques énergiques. Là se bornait le plus clair des données classiques, je veux dire susceptibles d'être enseignées au public non spécialisé.

Quel chemin parcouru, depuis des années encore proches, jusqu'au stade actuel de la préparation industrielle ! Pour apprécier ce recul, j'ai feuilleté mes cahiers de cours d'étudiant, ayant fait

la constatation mélancolique qu'ils remontent, hélas ! à cette époque.

Les étudiants d'alors étaient bien favorisés, et le chapitre vitamines tenait en peu de pages. Il n'était fait à ce sujet que des allusions discrètes, sans qu'un enseignement spécial y fût consacré ; le Professeur Delépine chargé, à la Faculté de Pharmacie, du cours d'hygiène, devait se contenter, à l'occasion de l'étude des vitamines, d'un développement chimique assez maigre. Il nous enseignait seulement que ces substances organiques mal définies, constituaient des molécules le plus souvent azotées « et parfois sulfurées » ; l'allusion visait la thiamine actuelle, cette vitamine B I qui n'est autre que la Bévitine de nos officines, mais qui, pour l'heure, demeurait perdue dans le fatras non élucidé du groupe B.

A la Sorbonne, le Professeur Portier déclinait assez timidement — audacieusement pour l'époque — l'état civil des quelques vitamines déjà connues et qu'on désignait par les toutes premières lettres de l'alphabet — sans qu'on soit pour cela, ajoutait ce Maître éminent, beaucoup plus avancé qu'avant... Il me souvient encore qu'un jeune et déjà brillant pharmacien des hôpitaux déclara un jour devant moi, dans une conversation privée : « Les vitamines, cela ne cristallise pas encore ; et, dame, tant qu'un produit n'a pas cristallisé... ». Ajouterai-je que ce sceptique, dans lequel vous voudrez bien reconnaître notre si dynamique Doyen, le Professeur René Fabre, devait justement, peu de temps après, s'employer personnellement avec succès, à les faire « cristalliser » ? C'était aussi l'époque où une marque de farine alimentaire présentait en quatrième page du journal, en guise de placard publicitaire, « une vitamine très grossie », sous l'apparence d'un hideux animal au profil de phtirius...

Ainsi étaient connues — ou plutôt méconnues — les vitamines en ces temps si proches de nous à la mesure de l'Histoire. Avec les diastases et les hormones, elles formaient une trilogie de « *terrae incognitae* » qu'on allait pourtant explorer en moins d'années que ne furent prospectés ces territoires africains qui figuraient en blanc sur nos atlas d'enfants.

Diastases, hormones et vitamines, ce n'est pas fortuitement que ces trois noms sont accolés. On allait bientôt voir, en effet, les relations qui unissent les trois groupes et, aujourd'hui, on doit renoncer à peu près à les étudier de façon indépendante.

Entre hormones et vitamines, toutes deux indispensables à l'économie, toutes deux agissant à faible dose, la parenté était évidente, et vers 1925, Mme Randoin et M. Simonnet proposaient le terme d'*exhormones* pour désigner les secondes ; ainsi ces auteurs marquaient déjà le caractère différentiel principal : les vitamines, qui ne peuvent pas être synthétisées par l'organisme, leur apparaissaient comme des hormones d'origine exogène. Plus récemment, on proposa de réunir sous la dénomination d'*ergones* l'ensemble vitamines et hormones, tant la frontière est parfois peu nette entre ces

deux espèces. Entre vitamines et diastases, les relations sont plus étroites encore ; nous verrons que nombre des premières entrent dans la constitution des secondes, et les ouvrages modernes d'enzymologie consacrent un chapitre à plusieurs vitamines importantes, en leur qualité de co-ferments ; nous verrons surtout — car je compte y insister — de quelle aide furent pour la connaissance des vitamines les travaux des enzymologistes.

Ainsi se trouve justifié le terme de « *vitazymes* » proposé également pour les vitamines à fonction nettement enzymatique.

Mais cessons d'anticiper, et voyons comment furent acquises ces précisions nouvelles.

L'isolement des vitamines. — Le premier problème qui s'imposait aux chercheurs était l'isolement de chacun des facteurs nouveaux ; le second consistait à en fixer la constitution chimique. En fait, ces deux étapes successives furent étroitement imbriquées, et souvent l'analyse, voire la synthèse, suivirent de peu l'isolement physique.

La moisson de résultats fut surtout fructueuse entre 1920 et 1940 et aujourd'hui encore l'ère de la récolte n'est pas révolue. Il n'entre pas dans mon propos de faire la description fastidieuse de chaque découverte, non plus que des procédés bien connus que les auteurs ont employés. Les stades successifs de l'isolement consistèrent à partir de cet « indéterminé alimentaire », support d'une propriété vitaminique distincte, puis à l'enrichir par fractionnement physique en vertu active. L'effort est tout à fait comparable à celui que s'imposent les enzymologistes lorsqu'ils « purifient » leurs diastases au départ des substrats ; dans l'un et l'autre cas, il arrive qu'on soit indécis quant au terme final : à moins d'avoir abouti au « corps pur » des chimistes insécable, par définition, à l'aide des procédés physiques, comment être certain que l'ultime fraction active isolée représente bien la vitamine elle-même, plutôt qu'un « indéterminé » d'ordre supérieur, où elle demeure encore dissimulée ? Parfois aussi, l' « indéterminé » de départ contient plusieurs facteurs différents dont la séparation et la reconnaissance se montrent plus ou moins pénibles.

Ces difficultés sont illustrées par l'histoire du facteur hydrosoluble B : on a dit que Funck avait conclu à la présence dans la polissure de riz d'un principe antinévritique agissant contre certaines manifestations du béri-béri ; peu de temps après (1915), Mc Collum étudia sur le rat blanc les déficiences alimentaires du riz poli et postula l'existence d'un facteur d'entretien qu'il nomma facteur hydrosoluble B. On identifia le principe de Funck et celui de Mc Collum, et on les désigna en commun comme vitamine B.

En réalité, on ne tarda pas à reconnaître la pluralité d'action de ce facteur B ; par des recherches ultérieures auxquelles Mme Randoin et M. Lecoq d'une part, et M. Szent Györgyi d'autre part, ont surtout attaché leurs noms entre 1927 et 1935, on fut

amené à scinder cette vitamine complexe en plusieurs entités différentes. Aujourd'hui, on distingue les vitamines : B 1 antinévritique ; B 2 d'utilisation nutritive ; B 6 ou pyridoxine, antidermatosique du rat ; l'ensemble, augmenté de la vitamine P p antipellagreuse, forme le « groupe B », auquel se rattacherait encore l'inositol, et la toute dernière-née, la vitamine B 12.

La plupart des autres facteurs connurent, environ dans le même temps, des modalités semblables d'individualisation. Dans le groupe des vitamines hydro-solubles, le facteur C, antiscorbutique, avait été entrevu par Drummond en 1918 et fut, dix ans plus tard, identifié par Szent Györgyi avec l'acide ascorbique, cependant qu'une vitamine P (ou C_2), de nature flavonique, était plus récemment (1939) découverte par ce dernier auteur qui lui assigne un rôle dans la résistance des vaisseaux capillaires.

Aux vitamines liposolubles appartient la première en date dans l'isolement : le facteur A antixérophtalmique, reconnu en 1913 par Mc Collum. La — ou plutôt les — vitamines B, antirachitiques, ont vu le jour vers 1930, à la suite des travaux de Windaus, en Allemagne, puis de Bourdillon, en Angleterre, de Fabre et Simonnet, en France, sur l'irradiation des composés stéroliques.

Enfin, ce même groupe liposoluble s'est enrichi encore de plusieurs facteurs secondaires ou plus récemment découverts, tels que E (reproduction), K (antihémorragique), etc...

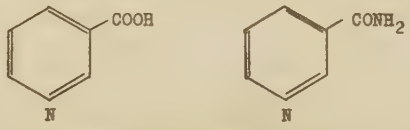
Il résulte de ce processus que le nombre des vitamines « primitives » s'est considérablement accru ; un grand nombre de facteurs d'entretien ou de croissance sont aujourd'hui parfaitement identifiés et ont pour la plupart livré le secret de leur constitution chimique.

Constitution chimique des vitamines. — Arrêtons-nous un instant sur ce dernier stade de la recherche ; il marque un progrès appréciable dans la connaissance, puisqu'il permet de faire rentrer les vitamines dans la classe des principes chimiques définis, ce qui rendait possible de leur appliquer dans la suite les lois récentes de l'action pharmacologique et, en particulier, celles qui gouvernent les relations entre la structure chimique et l'activité physiologique. Nous allons reconnaître, à cette occasion, de quel secours furent, pour la connaissance des vitamines, les acquisitions de l'Enzymologie.

La détermination de la structure chimique des vitamines est le fruit des efforts conjugués des biochimistes d'une part, des analystes et organiciens d'autre part ; de nombreux savants, tels que Euler, Kuhn, Javillier, Szent Györgyi, parmi les premiers, Windaus, Karrer, parmi les seconds, y attachèrent leur nom. De leurs travaux ressort d'abord l'extrême diversité chimique des vitamines. Celles-ci sont loin de former un groupe chimique homogène : la vitamine A, apparentée aux carotènes, a une constitution terpénique ; la vitamine C se rapproche des sucres ; la vitamine D est de nature stéro-

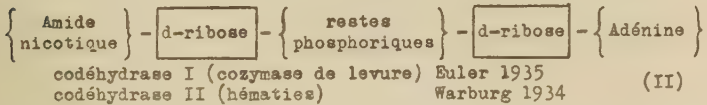
lique. On connaît même aujourd'hui une vitamine à structure de complexe organo-métallique, la vitamine B 12. Pour les autres facteurs du groupe B, la fixation de leur constitution chimique décela d'emblée leur parenté avec certaines diastases de l'économie.

Pour n'avoir pas à examiner dans leur détail les différents cas d'espèce, nous allons prendre l'exemple typique de la vitamine antipellagreuse, facteur P p (pellagra preventing) aujourd'hui identifié à l'amide nicotique (I). De longues recherches sur la pellagre, menées par toute une suite de cliniciens et de biologistes, avaient conduit Goldberger à reconnaître en 1915 l'origine alimentaire de cette affection ; en 1937, Elvehjem étudia les extraits de foie qui apparaissaient actifs aussi bien contre certaines affections pellagroïdes que contre l'anémie pernicieuse, cet auteur en isola — douze



Acide nicotique (I) Amide nicotique

ans avant qu'il fut question de la vitamine B 12 — l'amide nicotique qui, vers 1938, fut sans conteste assimilé lui-même à une vitamine. Ce résultat n'avait pourtant été acquis que grâce à une autre série de recherches, indépendante des précédentes, et qui facilitèrent beaucoup les interprétations d'Elvehjem ; elle porte sur deux coferments, les *codéhydrases I et II* (II), découverts respectivement par Euler et Warburg, et actives dans les oxydo-réductions vitales.

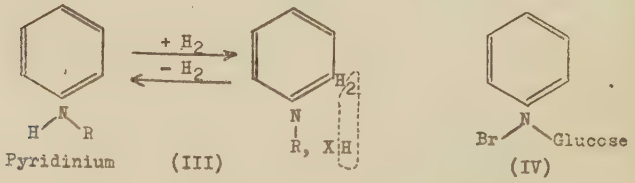


codéhydrase I (cozymase de levure) Euler 1935
codéhydrase II (hématies) Warburg 1934 (II)

Leurs formules montrent leur mutuelle ressemblance : ces molécules, fort complexes, comprennent deux restes azotés terminaux, amide nicotique en combinaison pyridinium, d'un côté, et adénine, de l'autre ; ces deux groupements sont reliés par une chaîne de deux molécules d'un sucre, le d-ribose, elles-mêmes séparées par des restes d'acide phosphorique — deux dans la codéhydrase I, trois dans la codéhydrase II. La reconnaissance de l'amide nicotique comme partie constituante des codéhydrases avait donc précédé de peu sa découverte par Elvehjem dans les extraits de foie antipernicieux ;

cette acquisition n'avait d'ailleurs pas été aisément obtenue ; l'apparition sur la scène biologique de ce dérivé de la pyridine se révélait fort inattendue. Jusqu'alors, nul des corps de cette nature n'apparaissait d'intérêt physiologique ; tout au contraire, la série pyridique n'était censée recéler que des substances toxiques, souvent malodorantes, fréquentées plutôt par les chimistes industriels que par les biologistes ; force fut, cependant, d'agréer cet amide comme substance vitale, car il devait être rapidement reconnu comme le support chimiquement actif de la propriété codéhydrasique. Il est curieux de noter le progrès lent et régulier de cette découverte. De nombreux mémoires parus entre 1930 et 1935, jalonnent les travaux d'Euler, de Warburg et de leurs collaborateurs ; on y suit avec intérêt le patient cheminement analytique de leur effort. On y voit comment Warburg parvint à isoler de la codéhydrase II un composé cristallisé, blanc, contenant de l'azote, fondant aux environs de 130° C. Warburg confesse son indécision, quant à l'identité chimique du composé isolé, et le recours qu'il fit à un analyste, M. Schöller, qui eut la bonne fortune de reconnaître dans les cristaux mystérieux les caractères de l'amide nicotique, connu des chimistes, depuis 1894, comme un dérivé négligeable de l'acide nicotique.

Un an après, en 1935, Euler retrouva le même amide dans la codéhydrase I et eut l'idée de son rôle dans le phénomène de transport d'hydrogène. Il s'adressa à un organicien, Karrer ; celui-ci étudia l'hydrogénation réversible dans les composés pyridiques voisins. Il réalisa par synthèse des molécules dites « *pyridiniums* », où l'azote trivalent des bases pyridiques fait place à un atome quinti-



valent et montra que ces pyridiniums quaternaires, à l'inverse des pyridines dont ils dérivent, fixent réversiblement 1 molécule d'hydrogène H_2 qui se place sur la double liaison entre azote et carbone α. Karrer eut ainsi le mérite de réaliser de véritables « modèles de diastases » hydrogénantes, telles que le bromure de glucosido-pyridinium (IV) et fixa ainsi le processus d'action de l'amide nicotique et des codéhydrases elles-mêmes. Le schéma (III) illustre cette aptitude des pyridiniums à fixer l'hydrogène puis à le restituer, donc à le transporter. La fraction pyridique de la codiastase, à azote quintivalent fixe H_2 et se convertit en base di-hydropyridique, à azote trivalent, et réciproquement.

On saisit, sur cet exemple particulier, les conditions dans lesquelles une substance biologique accède au rang de vitamine : pour ses oxydo-réductions vitales, l'organisme a recours — pour partie — aux codéhydrases I et II ; ces dernières possèdent, dans leur molécule, un reste d'amide nicotique qui est le véritable détenteur du pouvoir oxydo-réducteur ; cet amide, indispensable à leur synthèse biologique, l'est donc aussi au fonctionnement régulier de l'oxydo-réduction vitale. Ce raisonnement quasi syllogistique nous conduit à cette conclusion : si l'amide nicotique est identifiable à une vitamine, c'est parce qu'il est nécessaire à l'édification d'une diastase d'intérêt vital.

Bien d'autres vitamines ont pour leur part avoué leur commerce avec les co-diastases : la lactoflavine (B_2) fraction du ferment jaune de Warburg, qui contribue, comme la vitamine P p, aux oxydo-réductions de l'organisme ; l'ancurine (B_1), la pyridoxine (B_6), sont en rapport avec les carboxylases de l'économie ; l'acide ascorbique (C) lui-même apparaît n'agir, à l'instar d'une diastase, que comme un système « rédox » complet et il en serait encore de même de la vitamine A. On pourrait sans profit allonger cette liste ; elle comprendrait toutes les vitamines à fonction enzymatique pour lesquelles le nom de « vitazymes » fut proposé aux environs de 1938.

Celles qui ne rentrent pas dans le groupe des vitazymes semblent pourtant agir suivant des modalités comparables, et participent sans doute à la fonction d'un « *effecteur métabolique* » particulier, c'est-à-dire d'un de ces instruments qu'utilise l'organisme pour assurer les processus vitaux.

Vitamines et Métabolites. — On voit comment, grâce aux efforts des chimistes, évoluait et se précisait chaque jour davantage la notion de vitamine. Ces critères chimiques sur quoi se fondait leur définition allaient d'ailleurs se révéler indispensables : c'est que, de leur côté, les biologistes semblaient plutôt s'ingénier à compliquer la question ; continuant les découvreurs de vitamines de l'époque de Funck, ils soumettaient à des régimes diversement carencés leurs lots d'animaux, et ceci les amenait à révéler sans trêve de nouvelles substances, telles que des acides aminés indispensables au métabolisme, et qu'ils nommèrent, pour cela, « *métabolites* ». Il s'ensuivit un accroissement inquiétant du nombre des corps candidats à l'appellation de vitamines. Il y avait lieu, dès lors, de procéder à une discrimination serrée : comment situer respectivement ces deux ordres d'entités, vitamines et métabolites ? Pour résoudre le problème, il faut, ce me semble, établir une classification au sein de ces derniers ; parmi eux se rencontrent les matériaux de construction des tissus (par exemple les amino-acides qui servent à l'édification des protides cellulaires) pour lesquels les besoins de l'organisme sont souvent assez considérables ; on y trouve aussi, à dose beaucoup plus faible, des substances qui rentrent dans le montage d'effecteurs métaboliques tels que les diastases, et dont le mécanisme d'action rap-

pelle les catalyseurs des chimistes ; les premières constituent un matériau : les molécules d'acides aminés sont les moellons de l'édifice protidique ; les secondes sont un matériel, un outil : elles représentent, si l'on veut, la truelle du maçon. C'est à ce dernier groupe qu'appartiennent nos vitamines. Une autre condition intervient encore dans leur définition ; parmi les métabolites de l'une ou l'autre espèce, les uns peuvent être synthétisés par l'organisme même qui les utilise, à partir des éléments nutritifs, d'autres ne sont pas susceptibles de cette synthèse et doivent être apportés « préfabriqués » par l'alimentation — à son défaut par la thérapeutique ; on les nommera dès lors *métabolites essentiels.* Tels sont pour l'homme, l'amide nicotique, partie non synthétisable des codéhydrases ; l'aneurine, partie non synthétisable d'une carboxylase, et ainsi de suite.

C'est à ces métabolites essentiels que l'on conserve exclusivement la dénomination de vitamines ; encore l'emploie-t-on surtout lorsqu'ils concernent l'homme ou les animaux supérieurs.

Ainsi, le classement dans la liste des vitamines apparaît subordonnée à trois conditions : la substance promise à cette appellation doit être évidemment indispensable, c'est-à-dire constituer un métabolite ; elle doit entrer dans la constitution d'un effecteur, et, en conséquence, être exigée par l'organisme à doses minimes ; elle doit enfin échapper au pouvoir de synthèse de l'organisme, c'est-à-dire représenter un métabolite essentiel. Telle peut être donnée aujourd'hui, sauf erreur, la définition dernière des vitamines.

On comprend que la sélection soit parfois malaisée et que maintes vitamines aient à faire antichambre avant l'homologation définitive ; ainsi avons-nous vu, au cours des derniers mois, authentifier plus ou moins péniblement une vitamine J anti-cirrhotique (qui ne serait autre que la choline), une vitamine L antisprue (l'acide folique ?), une vitamine B_{12}, antipernicieuse (complexe organométallique du Co) ; par contre, une vitamine F, antinécrotique (acide linoléique) a été, après coup, à peu près retirée de la circulation.

Attirons maintenant l'attention sur une conséquence importante par son caractère général, de la définition des vitamines : pour la préciser, évadons-nous de nos tendances naturelles à l'anthropomorphisme pour considérer objectivement la vie des êtres qui nous entourent, plantes, bêtes ou microbes ; chacun de ces organismes exige pour son développement un certain nombre de métabolites, qu'il peut ou non synthétiser ; la notion de vitamines déborde, cette fois, l'histoire de la santé humaine ; tout être vivant peut revendiquer sa part dans la liste des facteurs essentiels.

Mais il y a mieux : il arrive qu'un métabolite donné soit accessible par synthèse naturelle pour un organisme particulier et non pas pour un autre : il s'identifie alors à une vitamine dans le deuxième cas, à l'exclusion du premier. Il s'ensuit qu'une même sub-

stance peut être classée ou non comme vitamine selon l'espèce vivante intéressée ; ainsi l'acide ascorbique, vitamine humaine, est synthétisé par l'organisme du rat, réfractaire au scorbut : il n'est pas, pour cet animal, de vitamine C. Si, comme le soutiennent certains biologistes, l'inaptitude à la synthèse reflète, pour un organisme, une perte de fonction due à son évolution, on arrive à cette conclusion que les besoins en vitamines se feront sentir d'autant plus sévèrement qu'on s'élève davantage dans la hiérarchie des êtres vivants ; et nous noterons au passage avec satisfaction cette marque coûteuse de notre supériorité sur le rat. Sans entrer plus avant dans cette thèse philosophique, bornons-nous à reconnaître toute la relativité que revêt le concept de vitamine, dès lors qu'on ne se borne plus à l'étude de nos semblables.

Les Antivitamines. — Le tableau d'ensemble résumant l'histoire des vitamines que vous me faites l'amitié de suivre avec moi resterait incomplet si nous n'abordions pas, pour finir, la question récente des antivitamines. C'est elle, en effet, qui illustre au maximum le problème des relations structure - action que la Pharmacologie commence à savoir résoudre pour les médicaments chimiques définis, et qui se pose dans le cas des vitamines depuis que celles-ci sont affectées, dans les Traités, d'une formule de constitution clairement connue. Pour traiter plus simplement cette dernière partie, je prendrai quelques libertés avec la chronologie : Nous envisagerons cette nouvelle idée non pas comme les faits l'ont réellement imposée, mais comme elle eut pu être déduite de ce qui précède par des pharmacologues géniaux fort en avance sur leur siècle.

Nous avons vu que les vitamines agissent en s'intégrant dans la molécule d'un effecteur métabolique tel qu'une diastase dont le fonctionnement est indispensable à la vie, ou, plus généralement, en prenant place comme maillon intermédiaire dans une chaîne de réactions métaboliques.

Or, ce que nous savons de la configuration stérique des molécules nous autorise à penser que cette intégration est pure affaire de structure ; la Chimie tend aujourd'hui à admettre que la forme des molécules importe plus, dans son incidence sur leurs propriétés, que la matière dont elles sont faites ; c'est donc à la forme particulière de sa molécule que l'amide nicotique devrait de prendre place dans la molécule des codéhydrases, ou bien la lactoflavine dans la molécule du ferment jaune ; ainsi la forme de la clef doit épouser celle de la serrure.

Qu'arriverait-il, si, grâce à une configuration voisine, un composé différent se substituait aux vitamines et prenait leur place dans l'édifice final ? On serait alors en présence d'une « fausse diastase », d'un « faux effecteur », ou, plus généralement, d'un « faux métabolite » ; il est naturel de penser qu'un tel « ersatz » ne participerait nullement des propriétés vitales du métabolite vrai. Il s'ensuit que le mécanisme serait bloqué, comme la fausse clef

bloque la serrure, et les phénomènes vitaux arrêtés : le faux-métabolite est, en somme, un anti-métabolite, la fausse vitamine, une anti-vitamine. Aidons-nous, pour comprendre cet accident, d'une comparaison un peu grossière. Nous avons tous connu ces puzzles géographiques, où il s'agit d'imbriquer dans une carte de France vide les 90 départements, représentés chacun par un petit morceau de carton, convenablement taillé. La forme de chaque carton présente le contour d'un département donné ; on peut supposer un enfant bâtissant son puzzle et confondant deux départements de forme voisine, par exemple, l'Aube et la Vendée ; il tentera d'insérer l'un d'eux dans la case vide de l'autre ; il y arrivera en forçant un peu. Le puzzle se tiendra — approximativement ; mais on y verra Troyes au bord de l'Atlantique ! Ainsi en va-t-il de notre faux métabolite ; l'édifice sera construit, à peu de chose près ; mais ses caractères biologiques seront profondément modifiés.

Notons que cette vue un peu puérile n'apparaît pas comme entièrement gratuite aux chimistes ; ceux d'entre eux qui se préoccupent de cristallographie connaissent, depuis Mitscherlich, que des éléments suffisamment ressemblants peuvent se substituer les uns aux autres dans un cristal sans en altérer gravement la morphologie et les propriétés physiques ; d'où l'importante notion d'isomorphisme. Les Aluns en sont l'exemple le plus classique : ces corps, de même facies cristallin, de propriétés voisines, susceptibles de syncristallisation répondent tous à des formules chimiques identiques. Il y a plus : on nomme *péridot* un silicate double de fer et de magnésium, $Si\ O_4\ Fe\ Mg$, qui semble résulter de la syncristallisation de forstérite, $Si\ O_4\ Mg_2$ et de fayalite $Si\ O_4\ Fe_2$; or, l'analyse de ce minéral montre fréquemment que les teneurs respectives en Fe et Mg s'écartent notablement de la théorie : fer et magnésium y rentrent en proportion presque quelconque, et les minéralogistes ont dû prendre le parti de représenter le péridot par la formule $Si\ O_2$ (O Fe OMg) : Fe et Mg y jouent le rôle mutuel de *constituants de remplacement*. Tout se passe comme si, au cours de la cristallisation, on glissait dans les mailles du cristal, par erreur, et « en forçant un peu », des atomes de fer en lieu et place de ceux de magnésium. La minéralogie fourmille d'exemples semblables dans lesquels certains éléments se montrent largement interchangeables.

On est donc en droit de ne pas s'étonner en retrouvant des faits semblables dans l'édification des molécules plus complexes de la biochimie. N'a-t-on pas vu, d'ailleurs, l'isomorphisme de certains sels retentir sur leurs propriétés biologiques, et, par exemple, des orthoarséniates donner dans l'organisme les mêmes réactions antigéniques que les ortho-phosphates ? Ainsi, métabolites vrais et faux représentent des corps voisins, sous l'aspect physico-chimique, quoique non fatalement identiques du point de vue de l'action biologique.

Application à la Thérapeutique : bactériostase. — Cette vue ingénieuse porte avec elle une conséquence pratique : elle va nous fournir une arme nouvelle dans la lutte contre les microbes. Les vita-

mines, avons-nous dit, ne sont plus l'apanage de l'espèce humaine ; tous les êtres et les microorganismes eux-mêmes ne peuvent vivre sans l'appoint de vitamines et de métabolites ; si donc nous pouvons remplacer, dans le métabolisme microbien, une vitamine par l'antivitamine correspondante, le microorganisme dépérira ; tel est le secret de l'activité de maints bactériostatiques.

On conçoit que la tentation soit grande, pour l'homme, de vaincre, par ce moyen, ses microscopiques ennemis ; depuis Pasteur et jusqu'à Domagk, Knight, Tréfouel, etc..., à qui nous sommes redevables de la notion d'antimétabolite, on utilisait, contre cocci et bactéries, surtout des antiseptiques chimiques, armes brutales, mortelles pour le parasite, souvent dangereuses pour le porteur. Nous avons maintenant la possibilité de sévir contre les germes par un processus, pour ainsi dire asphyxique, en les privant des éléments essentiels de leur nourriture ; c'est le blocus substitué à l'offensive — le blocus, forme la moins coûteuse de la guerre...

Bien entendu, il faudra que le microorganisme accepte ce faux aliment ; de fait, il se laisse ainsi mystifier avec une déconcertante facilité : il suffit de lui offrir l'antivitamine en quantité massive, par rapport à la vitamine elle-même ; l'action de masse aidant, la compétition se fait en faveur de la première ; le microbe l'absorbe au détriment de la seconde, et cette ingénuité le conduit à sa perte. Pour persévérer dans les images hardies, on peut le comparer à un cambrioleur maladroit qui, dans une vitrine d'alimentation, ferait main basse sur des factices vides et négligerait les empaquetages réellement consommables.

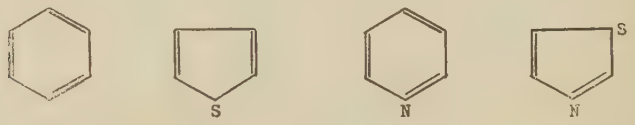
Structure et activité. — Que faut-il donc pour qu'un corps puisse jouer le rôle d'antivitamine ? Simplement qu'il y ait, entre lui et la vitamine, une communauté particulière de caractères structuraux ; et ceci nous amène à considérer le problème de la ressemblance en Chimie. Le traiter en son entier nous conduirait très loin ; contentons-nous donc de résumer.

Les chimistes ont de tout temps signalé des analogies entre atomes d'éléments voisins (famille des halogènes) ; l'isomorphisme des cristallographes a tout à l'heure matérialisé à nos yeux de telles ressemblances. Plus près de nous, les organiciens ont fondé sur l'analogie chimique entre groupements d'atomes l'importante notion de fonction ; enfin, plus récemment encore, les pharmacologues ont observé que la ressemblance chimique avait son retentissement pharmacodynamique.

Telle est l'idée directrice qui a guidé les progrès de la Pharmacologie depuis trente ans, amenant par exemple Fourneau à greffer sur des molécules simples les groupements fonctionnels actifs de la cocaïne.

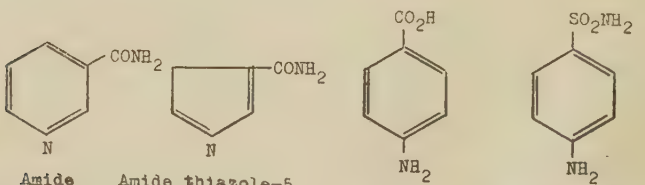
Deux conceptions nouvelles la modifient aujourd'hui singulièrement ; la première élargit les vues du pharmacologue ; l'analogie des molécules organiques n'est plus tenue pour dépendante seulement

de la similitude purement graphique des formules chimiques. Elle tire son origine de caractères structuraux plus profonds : la considération des rapports entre atomes ; la connaissance des diamètres atomiques ; les rapprochements entre les « *paramètres d'élasticité* » étudiés il y a trente ans par Georges Urbain lors de ses recherches sur les corps homéomères, toutes ces conceptions sont de nature à définir des analogies entre composés, ressemblances *qui ne transparaissent pas nécessairement dans nos formules usuelles.* Il faut tenir compte encore — et peut-être surtout — de l'existence de rapports d'ordre électronique, susceptibles de rapprocher des molécules scripturalement dissemblables ; ceux-ci sont basés, en particulier, sur l'hypothèse récente de l'*isostérie,* dont la discussion est ici hors de question ; nous la simplifierons en admettant que la concentration d'électrons particuliers en certains points de l'édifice de molécules *cycliques* confère à celles-ci leur forme réelle. Ont été rapprochés ainsi les noyaux du benzène et du thiofène (V), ceux de la pyridine et du thiazole (VI), dont la symbolique usuelle des organiciens ne révèle nullement, à première vue, la parenté.



Benzène Thiofène (V) Pyridine Thiazole (VI)

Les dérivés identiques de chaque cycle d'un même couple sont dits *isostères,* et manifestent une grande communauté de propriétés, tant sous l'aspect physico-chimique que du point de vue pharmacologique ; tel est, singulièrement, le cas de l'amide nicotique et de son isostère thiofénique, l'amide thiazole-5-carbonique (VII). Aux



Amide nicotique — Amide thiazole-5 carbonique (VII)

Acide p-amino-benzoïque — Amino-benzène sulfonamide (VIII)

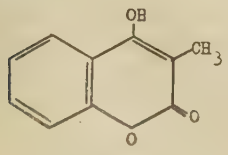
chimistes imprégnés de la notation en usage depuis Laurent et Gerhardt, il peut apparaître singulier qu'un noyau hexagonal reconnaisse comme proche parent un noyau pentagonal...

Qu'il s'agisse d'isostérie ou d'analogie structurale d'un autre ordre, il résulte de tout cela l'existence incontestable de couples de corps, dont les éléments sont deux à deux voisins, par exemple, au point de vue cristallographique : ainsi l'isomorphisme est fréquent — quoique non constant — entre les deux éléments d'un même couple. Donnons, de tels couples, quelques exemples classiques : l'acide para-amino-benzoïque, reconnu comme facteur indispensable des microorganismes sous le nom de *vitamine H'*, a été rapproché du noyau amino-benzène-sulfonique (VIII) ; l'amide nicotique a de même pour réplique le sulfonamide correspondant, etc... ces homéomères ou isostères de toute nature, susceptibles d'analogies physico-chimiques, seront aussi, en conséquence, passibles de relations mutuelles sous l'aspect de leur activité physiologique. Mais, ici, intervient la seconde conception, qui est, elle, bien propre à compliquer la tâche du chercheur : ces relations biologiques, liées à la ressemblance physique, pourront être, suivant les cas, des relations d'analogie, *ou, au contraire, d'antagonisme*, et nous retrouvons ici le phénomène « anti » : ainsi la vitamine H' a pour antagoniste son compagnon de couple, le noyau amino-benzène-sulfonique ; ce noyau, base des médicaments sulfamidés, joue le rôle d'antivitamine. De même, sont antagonistes amide et sulfamide nicotique, etc...

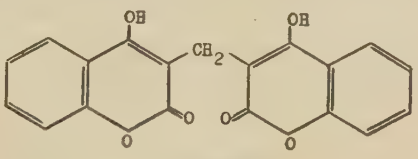
Et voici éclairé du même coup le mécanisme de l'action bactériostatique des sulfamides !

Cette « antinomie par ressemblance structurale » est maintenant classique en Pharmacologie et déborde largement le domaine des vitamines ; ainsi, le phénomène « antivitamine » vient-il s'inscrire dans un cadre absolument général.

Je ne me propose pas de développer davantage cette ultime partie de mon exposé ; il me reste à dire, au contraire, qu'en simplifiant exagérément les faits on les déforme toujours plus ou moins et qu'en réalité les liens structure - action ne sont pas toujours aussi nets que dans les exemples choisis. Ce chapitre de la recherche est encore en pleine évolution et les lois entrevues sont loin d'être tenues pour générales et définitives. Il convient donc de se défier des hypothèses trop séduisantes. C'est ainsi qu'on a pensé accéder d'emblée aux antivitamines par une simple duplication de la molécule de vitamine ; cette théorie trouvait son fondement dans les travaux de Mcunier et Mentzer sur les vitamines antihémorragiques ; certaines méthylhydroxycoumarines jouent le rôle de vitamine K et le double-



une vitamine K



(IX) dicoumarol

ment de leur molécule conduit à des dicoumarols de propriétés « anti » correspondantes (IX). Par contre, j'ai moi-même fait la synthèse du bis-nicotamide (X), qui n'est autre qu'une vitamine P p à molécule doublée ; et ce composé, loin d'être « anti-Pp », révèle un caractère provitaminique, à vrai dire peu accentué.

Bis-nicotamide
(X)

Les organiciens ont fait encore la synthèse de bien d'autres molécules à l'image de vitamines diverses ; les uns sont antivitamines, d'autres provitamines : peu sont indifférentes. On évitera donc toute généralisation prématurée en formulant la conclusion suivante : lorsque deux molécules de nature vitaminique présentent entre elles une certaine parenté dans leur structure profonde, elles sont partiellement interchangeables dans les édifices tant biologiques que cristallographiques ; mais, en biologie, l'un des éléments du couple peut présenter, selon les cas, les propriétés de l'autre ou les propriétés inverses ; ainsi, lorsqu'on synthétise des « modèles de vitamines » comme Karrer édifiait ses modèles de diastases, on peut aboutir à un facteur « anti » ou à un facteur « pro », voire à un corps plus actif que la vitamine prototype elle-même ; et il y a, pour l'heure, peu de possibilité de prévoir à l'avance le résultat réel.

*
**

Cette conclusion apparaîtra peut-être décevante ; on s'en consolera en considérant que, si le progrès en la matière va au rythme que nous avons vu, les indécisions actuelles seront bientôt levées. On ne doit donc pas désespérer de voir dans peu de temps naître, entre les mains des chimistes de synthèse, une floraison de corps artificiels qui seront, à la demande, ou bien des antivitamines fatales aux agents pathogènes, ou bien des supervitamines, assurant la santé humaine sans végétaux frais ni huiles de poissons. Il sera temps, alors, de reconsidérer le problème de la pilule alimentaire — si tant est du moins que la tendance s'affirme de remplacer les aliments de notre table par les médicaments de nos officines.

J. A. GAUTIER.

La psychophysiologie générale de la douleur

par Henri PIÉRON
Professeur honoraire au Collège de France

Pour la psychophysiologie, le problème de la douleur, dans son extrême complexité, apparaît comme un des plus difficiles, des plus étudiés, des plus discutés. L'importance justement donnée à la protection contre la douleur, que l'on s'efforce d'éviter, même chez les animaux, que l'on réussit à atténuer ou à faire disparaître quand elle rend la vie humaine insupportable, explique que l'on s'acharne à la mieux connaître, à pénétrer ses mécanismes, à analyser son action, à lui trouver sa signification réelle.

Depuis un siècle, si, à certains points de vue, des opinions semblables continuent à s'opposer, le champ des données positives acquises au cours des recherches scientifiques et des expériences médicales s'est singulièrement élargi, et des horizons nouveaux se sont ouverts. Il m'a paru qu'il pouvait y avoir quelque intérêt à tenter de faire aujourd'hui le point, après avoir déjà en 1929 présenté une brève communication sur ce sujet au IX[e] Congrès international de Psychologie, à Yale.

Il y a un siècle les physiologistes s'accordaient à envisager la douleur comme un avertissement fourni par des excitations nerveuses dépassant une certaine marge de sécurité, excitations portant sur tous les systèmes récepteurs des sensibilités externes ou internes. Suivant une formule du chirurgien Lucas Championnière, professeur à la Faculté de Médecine de Paris, dans une leçon clinique de 1901, la douleur « c'est l'excès de la sensation qui avertit l'organisme d'une destruction prochaine ». Ce fut une véritable révolution qu'apporta la découverte par Von Frey de ce qu'il appela les « points de douleur », les « Schmerzpunkte » quand, à la suite des explorations de la sensibilité cutanée qui avaient conduit Blix en Suède, en 1883, Goldscheider en Allemagne, en 1884, et Donaldson en Amérique, en 1885, à affirmer la discontinuité des réceptions pour le chaud et le froid, Von Frey montra que la pression d'une pointe sur la peau n'éveillait la douleur de la piqûre qu'en des points bien définis, de densité très variable suivant les régions explorées. De ces recherches, Von Frey concluait en 1894 que « la sensation douloureuse correspond à un arrangement spécial, c'est-à-dire à des points algiques et

---

(1) Conférence générale au XIII[e] Congrès international de Psychologie, à Stockholm, le 19 juillet 1951.

à des nerfs algiques ». A ses yeux, la douleur était une sensation spécique se situant sur le même plan que les sensations de contact, de chaud et de froid.

Cette conception, qui ne tarda pas à être admise de façon très générale et à devenir classique dans l'enseignement psychologique, ne s'imposa pourtant pas d'emblée et fut l'objet de contestations assez vives. Goldscheider, en particulier, qui, en 1884, avait signalé la dissociation des sensibilités au chaud, au froid et au contact, soutint que l'excitation des points tactiles donnait, pour une certaine intensité du stimulus, une impression de douleur, celle-ci n'étant qu'une « coloration particulière de la sensation tactile », « eine besondere Färbung der taktilen Empfindung ». Une stimulation faible donnerait toujours une sensation tactile non douloureuse. Mais Goldscheider reconnaissait l'existence de deux catégories de points de tact, revendiquant même la priorité de leur découverte, l'une de ces catégories ayant un seuil algique beaucoup plus bas, et correspondant aux points de douleur par piqûre de Von Frey.

La notion d'une spécificité de la sensibilité algique se trouva confirmée par de multiples données fournies par l'expérimentation physiologique et la clinique médicale. L'une des plus frappantes fut la nette dissociation de la sensibilité douloureuse et du tact dans les lésions médullaires. Les voies de conduction sont distinctes et la sensibilité algique voisine avec les sensibilités thermiques. La conception de Goldscheider pouvait rester compatible avec cette dissociation, en admettant une articulation des fibres afférentes à l'entrée de la moelle avec deux catégories différentes de relais, mécanisme dont j'ai exposé en 1923 la possibilité anatomo-physiologique, alors que « l'irradiation médullaire » invoquée par Goldscheider ne constituait qu'une explication bien confuse ; mais je n'admettais pas toutefois la réalité effective d'un tel mécanisme.

En fait, toute une série de données mettant en évidence des dissociations au niveau prémédullaire établirent, conformément à la conception de Von Frey, la spécificité des réceptions algiques périphériques : action des analgésiques, de l'anémie par interruption de la circulation, de la compression des troncs nerveux, avec des atteintes électives, soit de la sensibilité tactile, soit de la sensibilité algique. Et dès lors cette sensibilité fut explorée par les neurologistes avec une épingle comme la sensibilité tactile l'était avec un pinceau ou un tampon d'ouate.

Seuls les chirurgiens répugnèrent à se rallier à cette conception, si séduisante par sa simplicité.

Actuellement, une révision est nécessaire, même en ce qui concerne la sensibilité algique extéroceptive, et, dès 1923, j'ai abordé cette révision en distinguant nettement la sensation de piqûre, exclusivement envisagée par Von Frey, de l'impression de douleur, qui accompagne bien normalement la piqûre, mais qui ne caractérise pas la spécificité de cette sensation. Dire qu'on provoque avec une

épingle la « sensation de douleur », c'est méconnaître l'extraordinaire diversité spécifique de nos impressions douloureuses.

Comment dire que c'est une même sensation spécifique que j'éprouve quand je suis piqué, ou pincé, ou cogné, ou brûlé, ou quand je ressens une colique, une crampe d'estomac, une migraine, une rage de dents ?

Notre langage, en cette matière d'impressions subjectives, est évidemment très flou mais assez riche, et l'on parle de douleurs aiguës et sourdes, lancinantes et fulgurantes, pénétrantes et déchirantes, gravatives et constrictives, cuisantes et prurigineuses, rongeantes et pulsatiles, tormineuses et distensives, avec de bien difficiles correspondances d'une langue à l'autre.

Toutes ces sensations éprouvées, et si différentes les unes des autres, nous apparaissent bien comme ayant des spécificités multiples.

Il y a lieu toutefois de s'entendre sur cette notion de spécificité.

On peut dire qu'une impression est spécifique quand elle est identifiable de façon précise, la confusion étant le critère de l'identité spécifique de deux impressions. Il y a ainsi une spécificité locale d'impressions tactiles cutanées ou d'impressions lumineuses rétiniennes, liées à l'activation de récepteurs déterminés. Mais, avec une spécificité locale pratiquement identique, des impressions thermiques cutanées possèdent une spécificité qualitative propre, chaude ou froide. Nous pouvons ainsi identifier deux impressions thermiques, pourtant de spécificité locale différente, ou deux impressions de même siège cutané, mais dont l'une sera de contact, l'autre de chaud ou de froid.

En somme tout système récepteur gardant jusqu'à sa projection corticale son individualité indépendante possède de ce chef une spécificité propre, mais des catégories plus ou moins nombreuses de systèmes récepteurs peuvent posséder une certaine communauté spécifique.

Dans le domaine de la sensibilité algique cutanée, nous rencontrons la spécificité locale, car mon impression n'est pas la même si je suis piqué au pouce, au poignet ou au front. Mais, si je suis pincé au pouce, au poignet ou au front, avec une même spécificité locale, mon impression ne se confond pas avec celle de piqûre tout en ayant en commun le caractère d'être douloureuse. S'agit-il dans les deux cas d'un même récepteur, mais avec un pattern différent d'après les modalités de stimulation, pattern spatio-temporel tel que celui qui conditionne une impression vibratoire cutanée par stimulation exclusive de récepteurs tactiles ? Il ne resterait plus, pour la sensibilité algique, comme pour la sensibilité tactile, que des différences de spécificité locale.

Mais il est actuellement bien démontré qu'il existe des modalités différentes de la sensibilité algique cutanée : avec des modes de

stimulation variés on distingue des douleurs dites claires ou sourdes, reconnues par Thunberg dès 1902, par Alrutz en 1909, douleurs « ligypathiques » ou « barypathiques » suivant les expressions de Schriever, étroitement délimitées ou largement diffuses.

Des dissociations dans l'anémie d'un membre, dans certaines syringomyélies, se manifestent entre la douleur du type de la brûlure, la thermalgie, et celle du type de la piqûre, la centalgie, et j'ai relevé de telles dissociations dès 1923. Mais c'est en 1930 que j'ai pu apporter une démonstration décisive de la spécificité différente de ces deux catégories de sensibilité algique et d'une troisième catégorie, celle du pincement ou crousalgie. Au cours de mes recherches sur les temps de réaction, j'avais été frappé du retard considérable de la sensation algique provoquée par un flux de chaleur rayonnante. Je supposai que les fibres conductrices mises en jeu devaient être des fibres lentes, de petit diamètre, et constituer un système homogène différent de celui conditionnant la centalgie.

Le problème était, dès lors, d'obtenir une mesure comparée des vitesses de conduction — mesure que Helmholtz avait réalisée chez l'homme dès 1850, sans qu'on ait célébré le centenaire de cette expérience mémorable — en déterminant les temps de réaction moyens à des stimulations identiques portées sur des points du tégument inégalement éloignées des centres cérébraux.

En utilisant, soit des réactions spontanées de retrait, soit des réactions volontaires convenues à une stimulation perçue douloureuse, d'intensité algique définie en unités physiologiques, celles appelées fechners par Holway et Pratt, c'est-à-dire en multiples de l'intensité liminaire, avec comparaison de la main et du pied, et dans certains cas du front, j'ai pu déterminer des vitesses de propagation d'influx très différentes pour les douleurs de piqûre, de pincement et de brûlure. L'analyse morphologique des nerfs, en même temps que l'identification d'influx de vitesses différentes, entreprise par Erlanger et Gasser en 1926 et poursuivie depuis lors, a conduit à différencier dans les nerfs cutanés des systèmes correspondant aux différents types de réception. Or, les données obtenues par Heinbecker, Bishop et O'Leary (1934) et particulièrement par Zotterman (1939), qui a contrôlé l'efficacité algique de stimulations mécaniques et thermiques chez le chat, s'accordent entièrement avec les données que la méthode de Helmholtz m'avait permis de dégager. Les trois groupes d'influx comportent une vitesse de conduction moyenne de 16 m. chez l'homme, de 20 à 30 m. chez le chat pour l'excitation centalgique, contre une quarantaine de mètres pour la stimulation tactile, de 4 m. environ chez l'homme et de 2 à 5 m. chez le chat pour l'excitation thermalgique, enfin de 12 m. chez l'homme pour l'excitation crousalgique, de 8 à 17 m. chez le chat, pour des stimulations mécaniques d'action algogène, d'après les belles recherches de Zotterman effectuées à Stockholm. Gasser a reconnu de son côté la dualité certaine des vecteurs algiques des nerfs cutanés, ainsi que des types de douleur du système extéroceptif.

Mais c'est effectivement, non pas une simple dualité, mais une pluralité dans les catégories de sensibilité algique que l'on doit admettre ; et, s'il existe déjà au moins trois types pour les réceptions tégumentaires, il faut reconnaître qu'avec les douleurs internes il en existe bien d'autres, irréductibles à ceux-ci.

Le passage de l'extéroceptif à l'intéroceptif comporte d'ailleurs bien des transitions, un choc sur la jambe éveille des douleurs osseuses qui masquent celles d'origine cutanée, de larges compressions sont ressenties dans les masses musculaires, et au cours de piqûres avec des aiguilles thermoélectriques dans leur étude des sensations thermiques, Bazett et Mc Glone ont observé dans certains cas un type particulier de douleur, se montrant, sans être très vive, profondément angoissante, jusqu'à entraîner une perte de connaissance, et cela lorsque la paroi d'un petit vaisseau s'était trouvée touchée.

Lorsque le tégument se trouve subir une irritation hyperalgésiante, les caractères de la douleur, diffuse, sourde et obsédante, s'apparentent davantage avec de multiples formes des douleurs internes qu'avec la piqûre, nette, claire et, malgré son acuité, facilement tolérable. Les fibres vectrices en jeu de ces douleurs diffuses sont alors des fibres minces, amyéliniques, comme Gasser l'a définitivement établi, d'un type par conséquent considéré comme caractéristique du système sympathique, où Zotterman a récemment identifié des fibres algiques.

Que le système sympathique lui-même puisse être responsable des douleurs provenant des organes viscéraux, c'est ce qui avait pu être nié autrefois, mais qui a été établi par des stimulations directes chez l'homme même par René Leriche et par bien d'autres après lui. L'existence de points douloureux tégumentaires — les « points de Head » — dans les affections hépatiques, pulmonaires, cardiaques, rénales, etc., avec une action calmante maintes fois constatée d'une anesthésie cutanée, avait pu faire croire qu'il fallait une intervention des afférences extéroceptives pour révéler des inflammations organiques. Mais la dissociation de ces douleurs de transfert, avec les hyperalgésies qui les accompagnent souvent, d'avec celles qui émanent directement des régions irritées et qui sont souvent assez bien localisées, a été maintes fois établie, non seulement pour les organes innervés par le parasympathique des nerfs pelviens mais pour ceux qui dépendant de l'orthosympathique, et l'anesthésie cutanée se montre impuissante à calmer ces dernières réponses algiques, dont certains caractères sont liés à la structure même du système.

En effet, un large étalement de terminaisons recueille sur un grand espace les actions stimulatrices qui engendreront, quel que soit leur point d'origine, sur une seule et même fibre, de lents influx dont la fréquence augmentera avec l'étendue de la stimulation ; toute localisation précise dans le champ récepteur est dès lors naturellement impossible.

Lorsqu'une fibre transmet des trains d'influx assez denses, une contamination — dite éphaptique par Mme Arvanitaki — entraîne une excitation d'autres fibres qui se trouvent en contact direct, alors qu'aucune gaine de myéline n'assure l'isolement électrique, d'où une diffusion élargie.

Dans les synapses ganglionnaires où la transmission se fait par médiateur chimique, un apport prolongé, entraînant un excès de l'acétycholine qui constitue ce médiateur, accroît l'excitabilité générale, en dehors même des réflexes provoqués. Et quand les fibres amyéliniques cutanées se trouvent en contact avec les fibres sympathiques, la contamination éphaptique explique alors les douleurs des points de Head avec une correspondance bien établie au niveau des dermatomes.

Enfin, l'existence actuellement démontrée de production de neurohormones au niveau des terminaisons de certaines fibres, et en particulier d'histamine ou de substances de même type, explique la production d'états hyperalgésiques durables après des excitations douloureuses assez vives et prolongées. Lorsque l'excitation naît, par contamination, en un point quelconque du parcours d'une fibre, les influx, on le sait, se propagent dans les deux sens, et, du côté des terminaisons périphériques, peuvent libérer de l'histamine qui gagne lentement une étendue plus ou moins large, engendrant un état d'irritabilité pour un réseau d'innervation algique, très sensible, comme on le sait, à l'action de l'histamine, déjà responsable par sa libération hors des cellules lésées, de la douleur par brûlure que conditionne ce même réseau d'innervation.

Les recherches systématiques de Lewis et de son école sur les hyperalgésies cutanées provoquées par des irritations locales montrent bien ce rôle des neurohormones qui rend compte aussi de l'inflammation du sinapisme, maintenue après section des nerfs, mais non après leur dégénérescence, et que Langley chercha à expliquer par une assez choquante notion de réflexe d'axone, avec mélange pour un même neurone de fonctions afférentes et efférentes, notion qui ne peut plus être maintenue.

Mais, en revanche, l'étrange conception d'un système spécifique spécial, appelé « nocifensor » par Lewis, et dont le rôle serait de sensibiliser davantage à la douleur pour faciliter la défense contre les agressions douloureuses, relève d'une imagination sans aucun support réel, et ne peut être davantage admise.

***

Nous voilà bien loin de cette sensation de douleur explorable par la piqûre cutanée, piqûre qui se montre très généralement inefficace, comme l'ont constaté les chirurgiens, au niveau des organes internes, dont la sensibilité algique n'est actuellement plus niable.

Toutefois, dans l'extrême variété des impressions que nous rangeons en un cadre unique, celui de la douleur, il y a évidemment quel-

que chose de commun. Si l'on trouve, dans les éléments nerveux récepteurs une large variété, avec des fibres de diamètres fort différents, les unes bien protégées par une gaine isolante de myéline comme celles de la sensibilité centalgique, d'autres entièrement amyéliniques, si les parcours de certaines de ces dernières se sont montrés extraordinairement capricieux et variables d'un individu à l'autre, en sorte que le résultat de certaines interventions chirurgicales antalgiques reste à peu près imprévisible, il y a, dans la moelle haute une réunion de tous les conducteurs des sensibilités douloureuses du corps entier, à l'exception de la région faciale, marquant ainsi une certaine unité spécifique générale.

Cette unité réside, non pas dans les renseignements, plus ou moins grossiers dans la plupart des cas, qui sont fournis sur la nature de certains stimuli, mais seulement sur un caractère du processus d'excitation, celui de menacer l'intégrité de l'organisme, et cela, aussi bien pour des stimulations venant de l'extérieur, que pour celles qui résultent de processus internes ou d'actions ayant, par une voie ou par une autre, gagné l'intérieur de l'organisme.

Il existe une catégorie *nociceptive* des sensibilités, qui chevauche les domaines de l'extéroceptif et de l'intéroceptif.

Pour les grands systèmes sensoriels, ce qui fait leur unité, c'est bien la nature des renseignements fournis sur lesquels s'édifient nos perceptions du monde extérieur et de notre activité dans ce monde, tandis que, pour le système nociceptif, l'élément commun est une modification subie, quelle que soit la nature de la stimulation, chimique, mécanique, électrique ou radiante, modification qui, dans le cas des stimulations tégumentaires, appelle une activité de défense extéroceptive : c'est la direction de la réaction commandée par l'impression algique qui fait l'unité du système, unité nullement perceptive comme pour la vue, l'ouïe, l'odorat, la kinesthésie, mais essentiellement affective, et qui dépend d'une réaction thalamique tout comme les impressions agréables qui, comme l'ont montré Head et Holmes, peuvent être extrêmement exagérées d'un côté du corps dans certains syndromes thalamiques. J'ai déjà, au Congrès de Yale, insisté sur le caractère de cette unité algique, à l'intérieur de laquelle peuvent se ranger des sensations spécifiquement différentes sous leur aspect perceptif, comme la piqûre ou la brûlure.

Dans la mesure où le terme de sensation se rapporte à la connaissance perceptive, on n'a pas le droit de parler de « sensation » de douleur, comme je l'ai maintes fois répété. Mais il y a une sensation de piqûre dont le caractère perceptif est très net, avec renseignements fournis sur le lieu exact de la stimulation et le caractère pointu des objets — ce qui permet de vérifier si une aiguille est ou non émoussée — mais dont le caractère douloureux reste en revanche assez minime. Il existe une perception de brûlure, beaucoup plus confuse, avec un caractère douloureux beaucoup plus marqué. C'est cette unité du caractère algique qui permet de mesurer, avec des stimulations diverses, un seuil de douleur, plus élevé que les seuils

de sensations tactiles ou thermiques qui accompagnent normalement les stimulations algogènes, et même de tenter, comme Hardy, Wolff et Miss Goodell, des mesures d'intensité subjective par emploi de la chaleur rayonnante, comme étalon, en s'adressant, par exemple, aux douleurs déclenchées par les diverses phases de l'accouchement.

Mais cette intensité est celle d'une réaction thalamique dont la spécificité est à la base de cette unité des récepteurs variés de la sensibilité algique, qui se manifeste déjà à un niveau inférieur, où il n'est pas encore question de sentibilité perçue, à un niveau réflexogène, dans les centres d'étape médullaires, avec des réponses locales et des ébranlements végétatifs plus ou moins étendus, en particulier dans le système vasculaire. Au niveau du thalamus avec participation hypothalamique, sont commandées certaines modalités réactionnelles, sous forme d'actes de défense, observés chez le chat ou le chien privé des hémisphères cérébraux, actes maladroits évidemment en l'absence des renseignements perceptifs qui guident l'adaptation efficace de la défense, mais nettement dirigés toutefois.

C'est par l'expérience qu'il acquiert de perceptions s'accompagnant d'un éveil des réactions algiques provoquées par des réceptions de telle ou telle catégorie dans le cadre du système nociceptif que l'enfant apprend à se protéger, en particulier contre les brûlures, avant même leur début, par association avec les perceptions thermiques de chaleur qui les précèdent. Le caractère utile de la douleur, mis en doute par des chirurgiens comme René Leriche, qui ont mis tous leurs efforts pour lutter contre elle, apparaît avec évidence dans les cas si curieux d'analgésie congénitale dont on a, depuis la première observation de Weir Mitchell en 1892, décrit une douzaine de cas à peu près identiques, concernant des enfants ou des adultes. Un des mieux étudiés est celui de la fille d'un médecin, très intelligente, âgée de 22 ans, qu'a relaté en 1950 Mc Murray : cette jeune fille ignorait complètement ce que pouvait être la douleur, ou le prurit, en quoi pouvait consister une céphalée, une rage de dent, ou un coup de soleil. Elle était couverte de cicatrices, ayant subi d'innombrables coupures ou brûlures. Elle ne présentait pas de réflexes cornéens, ni de réactions respiratoires ou vasculaires aux stimulations normalement algogènes, telles que des chocs d'induction. Mais toutes ses sensibilités étaient par ailleurs parfaitement normales, et elle percevait fort bien une piqûre, sans que celle-ci se montrât le moins du monde douloureuse. Il est à penser que, si elle est devenue mère de famille, la naissance de ses enfants ne lui aura pas trop coûté.

Dans tous les cas de ce genre, on a noté des lésions, des fractures multiples, témoignant de l'incapacité de protection due à l'absence des réactions algiques. En compensation, des opérations — en particulier des réductions de fractures — ont pu être faites sans aucune anesthésie. Des inflammations comme une pyélite, une ostéomyélite, restèrent ignorées. Faute de données anatomo-pathologiques, le mécanisme de ces analgésies reste encore bien obscur, et

l'analyse de la plupart des cas a été malheureusement très insuffisante. L'hypothèse la plus probable est celle de l'agénésie des noyaux thalamiques responsables de la réactivité algique, et dont l'irritation, dans des syndromes thalamiques, engendre, on le sait, une irritabilité douloureuse excessive et des douleurs spontanées coïncidant parfois avec une analgésie pour les stimulations périphériques.

Dans une famille, deux enfants se montraient affectés d'une analgésie congénitale, alors qu'un troisième présentait tout au contraire un état hyperalgésique. En tout cas, la leçon qui se dégage des analgésies congénitales est bien la mise en évidence du rôle que jouent les sensibilités algiques relevant du moins du domaines extéroceptif. Mais qu'en est-il pour les douleurs internes ? On est bien tenté de penser qu'il n'y a qu'avantages à ne pas être menacé de migraines, de rages de dent ou de coliques néphrétiques. Mais l'absence d'alarme en cas de désordres intérieurs n'est certainement pas sans inconvénient, et l'on a reconnu que les cancers indolores étaient les plus dangereux. Les sensibilités internes, de façon générale, constituent un appel de la « sagesse du corps » — suivant l'expression de Cannon pour désigner la régulation organique de la vie, généralement silencieuse — lorsque, pour satisfaire aux nécessités vitales, aux besoins, une collaboration des activités extérieures est rendue nécessaire, et que la personnalité doit intervenir dans sa régulation du comportement.

Il est ainsi signifié au responsable cérébral des affaires extérieures qu'il a besoin de calories, besoin d'eau, le cas échéant besoin d'oxygène, et l'appel peut devenir impérieux avec un état de souffrance.

La douleur interne est un appel d'alarme quand la sagesse du corps s'est montrée impuissante dans une lutte contre les forces ennemies, appel dont l'origine est plus ou moins vaguement indiquée, venant de l'estomac ou de l'intestin, des bronches ou du cœur, des reins ou de la vessie.

Mais de quoi peut servir un tel S. O. S. chez l'animal qui n'a pas édifié ces techniques de médecine et de chirurgie permettant à l'homme d'étendre ses conduites de défense par une collaboration sociale ?

Son effet, en dehors de quelques recettes instinctives, comme chez le chat ou le chien, cherchant des herbes pour se purger, consiste à ne pas maintenir un mode de vie dont vient le soupçon qu'il a pu être responsable des troubles douloureux ressentis. L'animal devient inquiet, méfiant, cherche à changer d'habitat et souvent de régime, dans la mesure où il en a la possibilité.

En essayant sur des rats des produits toxiques propres à en assurer la destruction, Richter a constaté que lorsque l'empoisonnement n'avait pas entraîné la mort, les animaux refusaient d'emblée, si séduisants qu'ils fussent, les aliments auxquels avait été mêlé le poison, et en arrivaient ainsi, pour se défendre contre la mort... à

mourir de faim, après avoir présenté d'ailleurs des troubles d'allure névrosique. Lorsque, dans un finalisme un peu naïf, on exige de la nature qu'elle assure des adaptations parfaites, on arrive à s'indigner de douleurs inutiles, comme celles qui sont dues à des cancers, et dont souffrent aussi parfois des animaux sans possibilité de défense. Mais ce n'est pas une raison suffisante pour retirer tout rôle fonctionnel à cette sensibilité interne que je qualifierai de « taraxique », du mot grec qui signifie alarme.

Seulement, il est bien normal que la médecine se soit attachée à supprimer les douleurs inutiles. La lutte entreprise s'est appuyée sur les connaissances tirées des recherches physiologiques et des expériences naturelles de la pathologie, mais aussi, en raison de ses succès et de ses échecs, elle a puissamment contribué à accroître ces connaissances.

C'est sur les données récentes acquises dans cette voie que je voudrais maintenant attirer l'attention, ainsi que sur les problèmes qui se sont trouvés posés et dont on attend encore la solution.

⁂

La chirurgie de la douleur s'est contentée d'abord d'interrompre des voies de la sensibilité algique dans les troncs périphériques des nerfs, par exemple par injection d'alcool dans le nerf trijumeau en ces de névralgies faciales rebelles, ou par extirpation de ganglions, des sections de la chaîne sympathique ou de racines médullaires ; c'est en 1911 qu'on a commencé à faire appel avec Spiller et Martin aux cordotomies, aux sections médullaires d'une région du cordon antéro-latéral où, au niveau cervical paraissent réunies toutes les voies algiques du corps, à l'exception de celles des nerfs crâniens. Mais aujourd'hui la chirurgie cérébrale s'enorgueillit de succès dans le traitement des algies rebelles par des interventions portant, soit sur le thalamus — celles-ci encore très rares — soit sur l'écorce des hémisphères, soit, et ceci principalement à l'heure actuelle, sur les connexions thalamo-corticales avec la leucotomie ou lobotomie préfrontale. Celle-ci a permis de rendre supportables leurs dernières années de vie à des cancéreux incurables dont les douleurs, que la morphine ne pouvait plus calmer, faisaient envisager le suicide comme le seul parti à prendre.

Ainsi se trouve expérimentalement posée la question du rôle exact à attribuer au thalamus et au cortex, ou, psychologiquement, à la sphère affective et à la perceptivo-intellectuelle dans les sensibilités algiques.

Toute une série de données montrent bien que la douleur n'est pas engendrée au niveau du cortex : absence, soulignée par Penfield, de toute impression algique dans les effets des stimulations directes portées sur les diverses régions corticales chez l'homme au cours d'opérations chirurgicales et en particulier sur la pariétale ascendante où se projette la somesthésie pour la totalité du tégument ;

maintien de la sensibilité algique dans une région donnée du corps malgré la destruction de la zone de projection corticale de cette région sur la pariétale ascendante, et, dans quelques cas d'hémisphérectomie droite totale, maintien de la douleur sur tout le côté gauche.

Mais, si la douleur résulte bien d'une réponse infra-corticale, comme la lumière résulte d'une réponse du cortex occipital au niveau de la scissure calcarine, de quelle nature peut être l'impression ressentie en l'absence complète des hémisphères cérébraux ? Il n'y a évidemment aucune observation d'un homme « thalamique » vivant privé des deux hémisphères, et, s'il en était, on ne pourrait communiquer avec lui. Mais on peut envisager comme analogue l'état du patient chloroformé dont les fonctions corticales sont passagèrement interrompues. Il y a incontestablement des cas où certaines opérations très traumatisantes, par exemple dans des anthrax profonds, provoquent de vives réactions de défense avec des manifestations algiques, tout comme chez des chats ou des chiens thalamiques. Mais il n'existe aucun souvenir, aucun enregistrement de cette expérience, qui ne s'intègre pas dans la personnalité du malade, qui ne peut engendrer aucun conditionnement de nature à influencer les conduites ultérieures.

Au contraire, chez l'individu normal, les expériences douloureuses s'enregistrent et se maintiennent avec une remarquable ténacité et elles provoquent même, chez les animaux, des conditionnements immédiats, sans que les répétitions soient nécessaires.

La connaissance de la réponse algique du thalamus prend une place privilégiée dans la personnalité psychologique et dans les régulations du comportement, mais elle risque de s'imposer avec excès, à masquer ou obscurcir les renseignements divers fournis par nos sens, les souvenirs évocables, les élaborations mentales de nature à mieux assurer des conduites adaptées ; aussi, en fait, un certain antagonisme se manifeste entre les réactions thalamiques et les activités corticales.

Le fait que le thalamus se trouve libéré des inhibitions provenant du cortex paraît jouer un rôle important dans des syndromes d'irritation hyperalgésique. En revanche, une inhibition des réponses algiques du thalamus survient dans le cas d'activités absorbantes. L'action analgésiante de l'effort musculaire, étudiée par Georges Dumas, est bien connue, et j'ai pu vérifier qu'elle élève réellement le seuil de la réaction algique de dilatation pupillaire, témoignant bien d'une inhibition thalamique et non d'une simple distraction. Les blessures reçues dans un combat corps à corps sans être remarquées, l'influence calmante sur des douleurs internes d'une lecture absorbante, relèvent d'un semblable mécanisme.

D'intimes relations thalamo-corticales, comportant normalement un certain équilibre, jouent un rôle essentiel dans la vie psychologique. Les circuits réverbérants que l'électrencéphalographie a mis

en évidence constituent une manifestation physiologique de ces relations fonctionnelles.

Que se passe-t-il lorsque certaines voies reliant des noyaux déterminés du thalamus au cortex préfrontal des deux hémisphères sont interrompues par des incisions dans la substance blanche au cours des leucotomies ?

La douleur est-elle supprimée ? Nullement, d'après les dires des malades opérés et même d'après la mesure des seuils algiques avant et après une opération efficace ayant amené la sédation cherchée, la sensibilité douloureuse cutanée est plutôt affinée : les seuils ont été abaissés dans quatre cas sur six au cours de recherches récentes de King, Clausen et Scarff sur des lobotomisés, et, dans la totalité des vingt-trois cas explorés par Chapman, Rose et Solomon par une réaction protectrice à un flux de chaleur rayonnante.

L'effet de l'opération est de calmer, non la douleur elle-même, mais la souffrance qui est en quelque sorte son écho, en rendant indifférent à la douleur qui se montrait jusque là insupportable, indifférence ayant d'ailleurs chez les lobotomisés un caractère général.

Il s'est produit une modification de la personnalité comme il s'en produit chez des aliénés, des mélancoliques anxieux, par exemple, des automutilateurs s'infligeant de sang froid des blessures affreuses et présentant ce que j'appellerai une « analgothymie ».

Une dissociation complète peut donc se réaliser entre l'affect élémentaire d'origine sensitive et l'écho thymique général de souffrance, très semblable à celui que l'on observe dans ce qu'on appelle la douleur morale, le terme de douleur marquant bien la confusion usuelle de ces deux modalités affectives.

La très grande variabilité individuelle des dispositions thymiques, avec les pôles extrêmes, dans la pathologie, de la mélancolie et de l'euphorie des agités maniaques, se manifeste dans les réactions de la personnalité aux agressions douloureuses, entre les douillets qu'une simple piqûre jette dans des transes et les stoïques se prêtant, le cas échéant, sans anesthésie à une opération aussi douloureuse que l'amputation d'une jambe, sans oublier les « algophiles » qui trouvent dans des stimulations douloureuses un procédé d'excitation tonifiante que d'autres cherchent dans l'alcool.

C'est l'alarme provoquée par des douleurs internes persistantes contre lesquelles il n'est pas de protection naturelle qui révèle le plus les différences de réaction thymique de la personnalité et qui accentue jusqu'à la névrose les hyperalgothymies.

Si, comme Pavlov l'a montré, on peut transformer par conditionnement l'écho thymique de la douleur, en associant par exemple chez le chien une nourriture savoureuse à une décharque électrique qui annonce avec sécurité une récompense désirée, on peut aussi provoquer des perturbations thymiques d'ordre réellement névro-

sique, comme Pavlov en a établi l'existence, quand on met l'organisme — fût-ce celui d'un chien — dans des conditions trop difficiles pour qu'il puisse réussir à éviter une punition douloureuse au lieu d'une récompense désirée.

Or lorsqu'on est alarmé par une douleur interne et qu'on n'arrive pas à trouver la défense efficace, on est dans des conditions semblables à celles du chien de Pavlov ne réussissant pas à trouver la réaction qui le protègera contre les décharges électriques.

De telles névroses engendrées par la douleur, de telles algonévroses dirai-je, se présentent naturellement chez ceux qui y sont thymiquement prédisposés. A la base de ces différences de personnalité existent certainement des différences physiologiques, et l'on a maintenant une assez large expérience des effets que des chocs de diverse nature, imprimés au système cérébral, électrochocs, par exemple, engendrent dans une personnalité morbide pour pouvoir en être assuré. Et les expériences sur l'animal de Philip Bard sont à cet égard bien suggestives, qui montrent que l'on peut à volonté faire d'un chat un être placide, demeuré caressant alors qu'on lui pince méchamment la queue et qu'il cherche seulement à éviter cette douleur, ce que l'on obtient par enlèvement du néocortex, ou un animal féroce répondant à des stimulations par une lutte enragée lorsqu'en outre on détruit une région bien définie du cerveau, le petit complexe agmydaloïde situé sous le lobe pyriforme.

Les interactions cortico-thalamiques avec participation certaine de l'hypothalamus, sont à coup sûr singulièrement complexes. Peuvent-elles comporter un éveil, d'origine corticale, de l'affect algique élémentaire, de la douleur sensitive, ou, au contraire, une inhibition radicale ?

Cette inhibition serait en jeu dans les analgésies hystériques, et le Dr Boisseau, fidèle à la conception du pithiatisme de Babinski, a montré, sur lui-même, qu'il pouvait empêcher toute manifestation d'une douleur par brûlure ou faradisation, aussi bien dans l'électrencéphalogramme que dans les réactions végétatives vasculaires ou cardiaques. On aurait là, semble-t-il, une transition entre l'indifférence de l'analgothymie et l'analgésie véritable.

En revanche, des douleurs pourraient aussi être éveillées par des conditionnements corticaux, comme W. E. Hunter croit avoir pu le démontrer, et comme paraît bien l'établir le fait que des douleurs insupportables du membre fantôme chez les amputés ont disparu après une ablation des zones de projection de ces membres dans la pariétale ascendante, avec d'ailleurs des succès analogues par simple psychothérapie.

Il y a là un aspect à préciser de ce fonctionnement du système « centrencéphalique » de la sensibilité, suivant l'expression de Penfield, du système thalamo-cortico-thalamique comme le précise Jasper.

Mais certains syndromes d'atteintes cérébrales attirent l'attention sur un aspect jusqu'ici négligé de ces relations, ce sont ceux qui comprennent, dans des atteintes de la région frontale de l'hémisphère gauche en général, intéressant le gyrus supramarginal, cet important carrefour, une « asymbolie à la douleur », la « Schmerzasymbolie » de Schilder et Stengel (1928) accompagnant des troubles variés de nature généralement aphasique, apraxique, agnosique.

A la quinzaine de cas relevés en 1948 par Rubens et Friedman, Hécaen et Ajuriaguerra en France en ont encore ajouté un récemment, complété par un examen anatomopathologique. Le trouble essentiel consiste en l'absence de toute activité de protection ou de défense vis-à-vis de stimulations algogènes qui provoquent cependant des manifestations normales de la douleur et parfois une agitation généralisée. Il y a manque d'un comportement adapté à la réaction aversive qui caractérise l'affect algique.

On peut dire qu'il y a une analgognosie ou mieux une apractognosie algique, un défaut de l'adaptation des activités à la connaissance de cette impression nociceptive. Elle peut s'accompagner d'une agnosie plus générale, d'une disparition de la connaissance perceptive des stimulations, de leur localisation et de leur nature, connaissance évidemment nécessaire à une bonne adaptation des réactions de défense, mais elle peut en être indépendante, et porter sur le sens même de l'activité de défense, jusqu'à abolir le clignement à la menace.

Il manque alors une compréhension de la signification de la douleur, comme dans les agnosies manque celle de la signification d'un complexus sensoriel qui permet de diriger l'emploi d'un objet, l'orientation dans l'espace, l'utilisation d'un texte écrit.

Lorsqu'il se produit une excitation des récepteurs spécialisés qui déclencheront l'affect algique primaire, et qui apporteront des renseignements d'ordre perceptif, des réactions appropriées seront commandées par la personnalité dans la mesure où, comprenant qu'il s'agit d'une menace, seront utilisées les connaissances fournies par l'excitation même ainsi que par toutes les autres données de l'expérience actuelle et passée, avec une vigueur qui dépendra de l'écho affectif éveillé, de cet état émotionnel de la personnalité qui assure la mobilisation des énergies de réserve. On comprend que, dans ces processus complexes, des altérations pathologiques très variées puissent entraîner ces perturbations si diverses dont nous avons rappelé quelques-unes des plus notables.

⁂

Je pense vous avoir convaincus que ce n'est pas sans raison que l'on a dû apporter à la conception trop simple de Von Frey d'importantes corrections et additions et que l'on doit s'attendre encore à

de nouveaux progrès dans notre connaissance psychophysiologique des mécanismes de la douleur.

Provisoirement, pour me résumer, je préciserais ainsi les grandes lignes d'une définition du complexus algique :

Affect élémentaire impliquant une plus ou moins forte tendance aversive, déclenché au niveau thalamique par l'excitation de toute une famille de récepteurs nociceptifs, tant dans le domaine extéroceptif, où elle appelle des réactions définies de défense, que dans le domaine intéroceptif, où elle éveille une alarme générale ; cet affect accompagne des renseignements perceptifs, qui peuvent être assez précis avec certains récepteurs, et rester avec d'autres extrêmement vagues, mais qui guideront des modalités de comportement adapté à une menace, dont la signification sera comprise par la personnalité qu'elle intéresse, en même temps que celle-ci éprouvera une souffrance plus ou moins vive, plus ou moins dominatrice de ses dispositions thymiques.

Henri PIÉRON.

Les livres reçus

BOHM (David). — Quantum Theory (Prentice Hall Inc., New-York).
CURRY (Haskell B.). — Leçons de Logique algébrique (Gauthier-Villars, Paris). 1.600 fr.
DANGEARD (Louis). — La Normandie (Géographie régionale) (Actualités Scientifiques et Industrielles, Hermann et Cie, Paris).
ELLIOTT (Charlotte). — Manual of Bacteria Plant Pathogens (Chronica Botanica, Waltham et Lib. Reymann, Paris). 6 dollars.
GUILLAUMOT (Abbé M.). — Flore des Lichens de France et de Grande-Bretagne (Lechevalier, Paris). 5.200 fr.
JULIEN (Dr Louis). — Diagnose rapide et caractères des médicaments chimiques (S.E.D.E.S., Paris). 950 fr.
KIENTZ (Louis). — Notions fondamentales sur les Vernis et Peintures (Gauthier-Villars, Paris). 1.300 fr.
PIERON (H.), PICHOT (P.), FAVERGE (J.-M.), STŒTZEL (Jean). — Méthodologie psychotechnique (Presses Universitaires, Paris). 1.000 fr.
PIERON (Henri). — Vocabulaire de la Psychologie (Presses Universitaires, Paris). 1.700 fr.
SERRAN (Michel). — Les Hormones (Bibliothèque des Merveilles, Hachette, Paris). 450 fr.
TISCHLER (Dr Georg). — Allgemeine Pflanzenkaryologie (Naturwissenschaftlicher Verlag, vormals Gebrüder Bornträger, Berlin-Nikolassee). Zweite Lieferung : 48 Mark ; dritte Lieferung : 32 Mark.
VAN DER LINDE (P. J.). et WOUDENBERG (J. P. M.). — On the microclimatic properties of sheltered areas - The Oak-coppice sheltered Area (Inst. Météorologique des Pays-Bas). 3 florins.
VELLUZ (Louis). — Substances naturelles de synthèse, volume III (Masson et Cie, Paris). Broché : 1.400 fr. ; relié : 1.750 fr.
L'Année Psychologique (51e Année) (Presses Universitaires, Paris). 2.000 fr.
Les Cahiers de la Recherche agronomique (Rabat).

LES LIVRES

G. BOULIGAND et J. RIVAUD. — L'Enseignement des Mathématiques Générales par les Problèmes. - I., 1 vol., 372 pp., Paris, 1951, Vuibert, édit.

Dans ce volume, MM. G. Bouligand et J. Rivaud ont rassemblé une sélection remarquable de problèmes accompagnés de solutions destinés aux étudiants suivant les enseignements du Certificat de Mathématiques générales des Facultés des Sciences ou de Mathématiques supérieures et spéciales des Lycées. Coordonnés et gradués, ces problèmes constituent à la fois une introduction aux théories mathématiques faisant l'objet des cours et une préparation méthodique à la résolution des questions mathématiques simples que les étudiants rencontreront soit dans leurs examens de fin d'année, soit, plus tard, dans la pratique scientifique ou industrielle courante.

Les problèmes examinés sont groupés en deux livres. Le premier rassemble une série de questions faciles permettant dès le début de l'année scolaire une familiarisation de l'étudiant avec les questions qui feront plus tard l'objet principal du cours tout en contribuant à lui faire acquérir la pratique indispensable du calcul algébrique. Le second livre, de beaucoup le plus important, groupe dans l'ordre normal du programme des séries d'exercices sur les principaux thèmes du cours (changements d'axes et barycentres, théorie des vecteurs, déterminants, fonctions élémentaires, équations différentielles simples, formules de Taylor et applications, propriétés infinitésimales des courbes, étude des équations algébriques et applications à la géométrie analytique, recherche des primitives et calcul d'intégrales définies, fonctions de plusieurs variables et équations avec dérivées partielles simples, champs scalaires et vectoriels, applications géométriques du calcul intégral).

Une présentation particulièrement claire (énoncés en caractères gras faisant néanmoins ressortir les notations vectorielles), de nombreuses remarques tant analytiques que géométriques, des séries d'exercices proposés à la fin de chaque chapitre, contribuent à faire de cet ouvrage un instrument pédagogique de premier ordre.

G. PETIAU.

CAVRO (E.). — Catalogue des Hymènoptères du Département du Nord et régions limitrophes. - II Tenthrédoïdes. — 1 vol., 65 pp. ; P. Lechevalier, édit., Paris, 1951.

Faisant suite à une première partie consacrée aux Aculéates, cette livraison du Catalogue des Hymènoptères du Nord de la France traite des Tenthrédoïdes, ou « Mouches à scie » rencontrées jusqu'ici dans les départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme et de l'Aisne. Au total 452 espèces et variétés appartenant à plus de 120 genres sont citées, avec des renseignements aussi complets que possible sur la répartition géographique des espèces dans les départements considérés.

L'auteur a capturé lui-même la plupart de ces espèces, ce qui lui permet de fournir en outre d'intéressantes indications sur les plantes-hôtes, l'écologie des larves et des imagos. Il a puisé des renseignements complémentaires dans des collections, dont certaines sont aujourd'hui détruites ou ont disparu, et il a rassemblé des indications éparses dans différentes publications locales difficiles à se procurer ; toutes choses qui augmentent encore l'intérêt de telles études faunistiques locales, dont l'utilité n'est plus à démontrer.

J. CARAYON.

COMOLET (R.). — Recherches sur la genèse de la turbulence dans les conduites en charge. — Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air, n° 246, 1950, 124 pages.

L'ouvrage traite un sujet des plus intéressants : l'étude des conditions précises dans lesquelles se substituent l'un à l'autre les régimes d'écoulement fluide **laminaire** (à trajectoires parallèles) et **turbulent.** Le cas des conduites en charge est particulièrement bien choisi, car la distinction entre les deux régimes y est très facile. On admet assez couramment que l'écoulement est toujours laminaire, à une distance suffisante de l'entrée, au-dessous d'un **nombre de Reynolds** critique inférieur, toujours turbulent au-dessus d'un nombre de Reynolds critique supérieur, les phénomènes observés jusqu'ici entre les deux nombres critiques manquant par ailleurs de netteté (le nombre de Reynolds dépend des dimensions transversales de la conduite, de la viscosité et de la vitesse). En réalité, M. Comolet a pu montrer qu'on observait aisément un régime laminaire bien stable pour des nombres de Reynolds très élevés, l'apparition de la turbulence dépendant alors de perturbations mécaniques. Par contre, il existe un nombre de Reynolds critique supérieur, **caractéristique de la forme géométrique de la conduite** (courbure, etc...), au-delà duquel la turbulence se produit, même en l'absence de toute perturbation extérieure.

Les expériences ont été effectuées au Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'Université de Paris, sur l'initiative de M. le professeur A. Fortier, directeur dudit Laboratoire.

G. GUILLAUMIN.

DOURGNON (Jean) et KOWALISKI (Paul). — La reproduction des couleurs. Collection Que sais-je ?, n° 472, Paris, 1951, Presses Universitaires de France.

Dans ce petit volume très intéressant, les auteurs décrivent clairement les principes et les modes de réalisation pratique des principaux procédés ayant été proposés et utilisés pour la reproduction photographique des couleurs. Partant des principes de la théorie trichromatique, ils décrivent sommairement les procédés de sélection trichrome, de synthèse trichrome additive et soustractive, ainsi que les méthodes de corrections par masques.

G. PETIAU.

FERMI (Enrico). — Nuclear Physics. — Cours professé à l'Université de Chicago. Notes rédigées par J. Orear, A. H. Rosenfeld, R. A. Schluter. — Revised Edition. 1 vol., 248 pp., 1 pl. The University of Chicago Press, 1950. Prix : 3 dollars.

Cet ouvrage reproduit avec des compléments et une importante révision en 1950, les notes d'un cours professé par M. Enrico Fermi en 1949 à l'Université de Chicago et destiné à des étudiants possédant une bonne culture de physique générale moderne et au courant des méthodes de la mécanique quantique. Très complet, contenant en plus d'un exposé des résultats déjà classiques de la physique nucléaire, des notes, remarques et appendices sur des résultats expérimentaux ou des théories récentes, ainsi que de nombreuses références bibliographiques, il constitue un excellent instrument de travail pour les étudiants et chercheurs s'intéressant à la physique atomique ou nucléaire.

Nous montrerons l'importance de cet ouvrage en citant les principales questions traitées dans ses dix chapitres : 1. Propriétés générales des noyaux atomiques, modèle de la goutte liquide, moments dipolaires et quadrupolaires ; 2. Interactions du rayonnement électromagnétique et de la matière : pertes d'énergie des particules chargées dans le passage à travers la matière, théorie de la diffusion simple et multiple, phénomènes accompagnant le passage du rayonnement électromagnétique à travers la matière (effets photoélectrique, Compton, Bremsstrahlung, création de paires élec-

trons-positons, gerbes cosmiques) ; 3. Radioactivité alpha ; théorie de Gamow, caractères des spectres alpha ; 4. Radioactivité béta : faits expérimentaux, théorie, périodes et formes des spectres, règles de sélection, théorie du neutrino, double radioactivité béta ; 5. Emissions gamma : émission spontanée, règles de sélection ; théorie de la conversion interne ; 6. Forces nucléaires : caractères des forces nucléaires, problèmes et théories du deutéron problème de la diffusion neutron-proton, neutron-neutron ; 7. Mésons : résultats expérimentaux sur les mésons pi et mu, théories mésiques ; 8. Réactions nucléaires : théorie générale des sections efficaces, théorie du noyau compound, phénomènes de résonances nucléaires, évaporation nucléaire, théorie de la fission, modèle orbital des noyaux et nombres magiques, théorie de la réaction H ($n\gamma$) D, réactions photonucléaires ; 9. Physique des neutrons : sources de neutrons, théories du ralentissement et de la diffusion, polarisation des faisceaux de neutrons, théorie des réactions en chaîne (théorie élémentaire de la pile dite de Fermi) ; 10. Rayonnement cosmique : rayonnements primaires et secondaires, composantes dures et molles, théorie du mouvement des particules chargées dans le champ magnétique terrestre.

Des notes complémentaires et notamment une table des principales constantes numériques et le diagramme des noyaux stables et radioactifs établi par Segre, terminent cet ouvrage qui donne une vue d'ensemble remarquable des problèmes posés et des résultats obtenus ces dernières années en physique nucléaire.

G. PETIAU.

GLEN (Robert). — Larvae of the Elaterid Beetles of the tribe Lepturoidini (Coleaptera, Elateridae). (Les larves des Coléoptères Elatéridés de la tribu des Lepturoïdini). — Smitsonian miscellaneous collections, vol. III, n° 11, avril 1950, 246 pp. ; 40 fig.

Communément désignées sous le nom de « Vers fil de fer », à cause de l'aspect rigide de leur corps cylindrique, les larves de nombreuses espèces de ces Coléoptères sont très nuisibles aux cultures, et notamment aux champs de céréales.

Elles sont cependant difficiles à récolter, et plus encore à élever, puisqu'il leur faut en général plusieurs années et des conditions mal réalisables au laboratoire pour parvenir à l'état adulte.

Il résulte de ces difficultés qu'il y a seulement peu de ces Insectes au sujet desquels on puisse rattacher les larves à telle ou telle espèce déterminée d'adultes. L'identification spécifique des larves est cependant d'importance primordiale, d'abord parce qu'il est le plus souvent impossible d'obtenir les adultes correspondants, et ensuite parce qu'il est avéré que les différentes espèces réagissent de façon très diverse aux conditions d'humidité, aux caractères du sol, ainsi qu'aux procédés culturaux et aux traitements insecticides.

Le présent ouvrage de R. Glen a réussi à surmonter ces difficultés, en ce qui concerne du moins la tribu des **Lepturoïdini**, l'une des plus riches en formes nuisibles. On y trouve décrites les larves de près de 100 espèces de ces Elatérides, dont un tiers environ sont des espèces européennes. 38 espèces ont été déterminées par l'élevage, les autres par les circonstances de la capture en compagnie des imagos, ou par leur habitat et leur répartition. Il n'y a qu'un petit nombre de ces larves dont l'identification spécifique reste douteuse.

Outre des tableaux de détermination et des descriptions illustrées par des figures nombreuses et claires, cet ouvrage fort utile comporte d'abondantes indications biologiques concernant notamment les cycles et l'écologie des larves.

J. CARAYON.

KHERUMIAN (R.). — Génétique et anthropologie des groupes sanguins. — Un vol. (16 × 25) de 128 pp., 6 fig. Edit. Vigot Frères, 23, rue de l'Ecole-de-Médecine, Paris (6e), 1951.

Le présent volume correspond à l'enseignement donné par R. Kherumian à l'Ecole d'Anthropologie.

Après un bref historique sur la découverte des divers facteurs sanguins, l'auteur étudie la génétique des groupes A, B, O, M, N, S, P, Rh et celle des groupes tout récemment découverts par Lewis, Lutheran, Levay, Kell, Duffy, Graydou, Jobbins, Kidd. Il s'attache surtout à donner les formules permettant de calculer la fréquence des gènes conditionnant chacun des facteurs et connaissant la fréquence des gènes, il est possible de calculer le pourcentage de chaque groupe ; on peut également calculer la fréquence des groupes chez les enfants à partir des fréquences maternelles seules. Quelques indications sont données sur l'antigène O et sur l'antigène de Ferssman, composante de l'agglutinogène A.

Depuis 1900, date où Landsteiner reconnaissait les 4 groupes classiques, les faits se sont bien compliqués ; actuellement, en possédant les sérums nécessaires, il est possible d'identifier 132.710.400 phénotypes différents. Il en résulte qu'il est infiniment peu probable de trouver dans une série d'échantillons de sang, plusieurs types de sang identiques. Cette constatation présente une importance pratique, notamment dans les identifications de vrais et de faux jumeaux, les exclusions de paternité, les échanges d'enfants dans les maternités, le dépistage des criminels à l'aide des taches de sang, de salive, de sperme.

La seconde partie de l'ouvrage est consacrée à l'anthropologie fondée sur les groupes sanguins ; les travaux déjà réalisés sont de valeur très inégale et les résultats doivent être acceptés avec beaucoup de prudence, car cette méthode requiert des précautions indispensables ; les analyses sanguines sont souvent pratiquées sur un nombre trop faible d'individus (500 tests représentent un minimum). Les groupes sanguins offrent une valeur incomparable pour classer l'humanité en races dont les caractères différentiels doivent être héréditaires. Et le grand anthropologiste américain W. C. Boyd s'étonne du peu de place accordée aux groupes sanguins dans l'anthropologie classique ; celle-ci admettait un concept de la race qui expliquerait cette carence.

Isolement et métissage expliquent la diversité des répartitions ethniques des groupes sanguins ; mais cette diversité n'est pas illimitée et tout semble se passer comme si chaque gène possédait un berceau original à partir duquel il rayonne. Le problème anthropologique des groupes sanguins est loin d'être résolu et de nombreux exemples montrent la complexité de cette répartition ; les hypothèses de Boyd et de Candela donnent des solutions provisoires.

A la fin du volume, des appendices résument les fréquences des divers groupes, et les compatibilités des groupes d'enfants avec ceux des parents pour les systèmes ABO, A_1 A_2 BO, secréteur, M.N, MNS, P, Lutheran, Kell et Rh.

Il est regrettable que cette mise au point intéressante renferme des diagrammes, tel que celui de la page 53, à peu près illisibles par suite du caractère minuscule de la typographie.

A. TÉTRY.

KLEINLOGEL (A.). — Formules pour le calcul des cadres. — Un vol. cartonné, 462 pp., 11e édit, traduit de l'allemand. Librairie polytechnique Ch. Béranger, Paris et Liége, 1951. Prix : 3.350 fr.

Ici, le mot cadre désigne un ensemble ridige polygonal de barres, rectilignes ou quasi rectilignes, allant de la béquille la plus élémentaire jusqu'au cadre rectangulaire proprement dit, en passant par la ferme symétrique à

quatre côtés ; en tout 114 types pour chacun desquels sont donnés les éléments du calcul des efforts élastiques correspondant aux divers cas de charges de la pratique. Plusieurs types comportent l'emploi de tirants et les appuis ponctuels, quand il en est, sont articulés, encastrés ou mobiles.

G. GUILLAUMIN.

LEGENDRE (R.). — Fonctions biharmoniques doublement complexes et applications aux problèmes d'élastostatique. — Publications scientifiques du Ministère de l'Air (notes techniques n° 42), Paris, 1951.

Les problèmes d'élastostatique à deux dimensions et certains problèmes d'hydrodynamique se ramènent à l'étude de fonctions biharmoniques.

Le premier chapitre de ce travail est consacré à la définition et aux propriétés des fonctions biharmoniques doublement complexes ; le développement de leurs propriétés est parallèle à celui des propriétés des fonctions analytiques.

Les possibilités d'utilisation des fonctions doublement complexes et l'étude des champs de tension sont examinées dans le second chapitre ; le problème de l'étude d'un champ est ramené à la recherche d'une fonction doublement complexe dont les valeurs aux limites sont liées aux conditions aux limites du champ de tension.

Les deux derniers chapitres sont consacrés à deux classes importantes d'applications correspondant au problème du trou dans une plaque infinie et à celui du demi-plan chargé localement.

L'application des résultats de cette étude peut être précieuse pour un ingénieur spécialiste de résistance des matériaux, car elle permet d'établir la solution mathématique exacte de quelques problèmes simples qui sont susceptibles de constituer des schémas convenables pour des problèmes pratiques ou qui peuvent être utilisés à la vérification de méthodes empiriques.

M. PARODI.

LIPS (Julius E.). — Les origines de la culture humaine. — 1 vol. in-8°, 354 pp., avec 216 figures d'Eva Lips. Paris, 1951, Payot, éditeur (prix : 1.200 fr.). Traduction de D. P. de Pedrals.

On ne peut mettre en doute l'évidence d'une évolution de la civilisation, non plus que de la hiérarchie des techniques. Par contre, les rapports de la technique et de la civilisation sont parfaitement discutables. L'auteur s'attache à réhabiliter les « Primitifs » en montrant que les phases de protocivilisation dénotent un équilibre moral et social qui nous fait tristement défaut. En ethnologue, il expose l'origine de nos outils, de nos usages, de nos traditions et de certaines croyances.

Le livre est divisé en quinze chapitres traitant de la demeure, de la parure, de la chasse, de l'agriculture, des premiers métiers, des distractions et des voyages, de l'information (depuis le tam-tam jusqu'au journal), de l'éducation sans livres, du théâtre, des légendes, de la magie et de la mort.

Les progrès de la Physique nucléaire étant susceptibles de modifier les voies d'évolution de l'Humanité, il n'est pas sans intérêt de faire un tour d'horizon et de voir comment la culture humaine a évolué depuis la préhistoire jusqu'à nos jours. C'est ce que fait J. Lips en multipliant les exemples. Ses exposés sont clairs, parfois même plaisants et cela grâce à la fidélité du traducteur. Le lecteur n'est pas obligé d'admettre cette « réhabilitation » sans réserve des Primitifs, mais il prendra connaissance avec intérêt de leurs cultures et de ce fond commun qui ne s'est pas accru à la même cadence chez tous les peuples. Il y apprendra combien notre luxe est pauvre, comparé à celui des Anciens et combien notre civilisation moderne a conservé de méthodes anciennes.

R. FURON.

MICHAUD (Roger). — Contribution à l'étude des réactions mutuelles des cristaux dans la déformation des métaux polycristallins. Préface de M. Canac. — Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air, n° 240. Un vol., 98 pp., Paris, 1950.

Dans ce volume, M. R. Michaud expose les résultats de ses recherches sur les réactions mutuelles des joints et des gros cristaux d'aluminium sous l'effet des tractions mécaniques. Après un rappel du mode de déformation du cristal unique d'aluminium, il examine successivement les résultats : 1°) d'une étude aux rayons X de l'influence des frontières sur ce mode de déformation ; 2°) d'une étude aux rayons X de l'influence de la grosseur des cristaux sur le mode de déformation de chacun d'eux ; 3°) d'une étude de la distribution de la déformation le long d'une éprouvette de traction par la méthode de la nappe plane de rayons X ; 4°) d'une mesure directe de la distribution des allongements conduisant au tracé de courbes de distribution relatives à des configurations de frontières complexes.

G. PETIAU.

Docteur E. H. RODD. — Chemistry of carbon compounds. - Chimie des combinaisons du carbone. — Vol. I : **General introduction and alipathie compounds. - Introduction générale et composés aliphatiques.** — 1 vol. de 777 pp. Edit. Elsevier publishing Company, Amsterdam, 1951. Prix : 7 livres ou 6 livres, en souscription. — Correspondant pour la France : E. Ulman, 16, avenue de Villiers Paris (XVII°).

Cet ouvrage représente le premier tome d'une série de 5 volumes devant constituer un traité de Chimie organique intermédiaire entre les grandes encyclopédies type Beilstein, Elsevier ou Grignard, et les traités comme ceux de Prévost, de Karrer et de Fieser. A ce traité, répondant aux mêmes besoins que l'ancien Richter, ont collaboré sous la direction de E. H. Rodd, les organiciens anglais les plus éminents : Professeur Sir Robert Robinson, J. W Cook, R. D. Haworth, Sir Ian Heilborn, E. L. Hirst et A. R. Todd, assistés d'une équipe de spécialistes qualifiés.

Dans ce premier volume, après une introduction générale sur la classification, la nomenclature, la structure et les propriétés des composés du carbone, onze chapitres sont consacrés aux composés alipathiques : hydrocarbures saturés et non saturés - Dérivés halogénés - Mono-alcools, leurs éthers et leurs esters - Dérivés soufrés et azotés - Organométalliques - Aldéhydes et cétones - Acides monocarboxyliques - Glycols et dérivés - Hydroxyaldéhydes et hydroxycétones et leurs dérivés. Très bien édité, comportant de nombreuses références dans le texte même et facile à consulter grâce à un index très complet, ce premier volume laisse bien augurer des quatre suivants et la collection complète rendra certainement les plus grands services à tous ceux qui s'intéressent à la chimie organique et en particulier, en dehors des organiciens proprement dits, aux chimiothérapeutes et aux biochimistes.

R. TRUHAUT.

F. SALLES et C. THORN. — Méthode des différences finies appliquée aux problèmes bidimensionnels de calcul des contraintes d'une plaque. Préface de R. Thiry. — Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air, n° B. S. T. 115, 1 fasc., 85 pp., Paris, 1951.

Après un exposé théorique contenant des compléments sur la théorie des plaques bidimensionnelles donnant notamment une interprétation de la fonction d'Airy sur le contour et un examen des conditions d'application de la méthode des différences finies à la détermination des contraintes dans les plaques, MM. F. Salles et C. Thorn confrontent les résultats obtenus par cette méthode avec ceux que donnent l'application des théorèmes sur l'énergie pour une plaque soumise à un chargement parabolique et avec les résultats de l'étude d'une plaque entrant dans une structure d'avion ayant fait l'objet d'un calcul par la méthode dite « des colonnes ».

G. PETIAU.

THORNTON (D. Laugharne). — Mechanics applied to vibrations and balancing. — Seconde édition, 1 vol., 584 pp., London, 1951. Chapman et Hall Ltd, édit. Prix : 50 shillings.

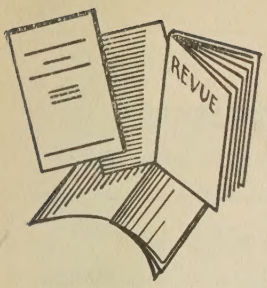
Cette seconde édition, complétée et augmentée du traité de mécanique vibratoire de M. D. L. Thornton (la première édition de 1939 est restée peu connue en France) donne à l'intention des ingénieurs et des physiciens un exposé très complet de la théorie des vibrations appliquée à de très nombreux exemples tirés de la technique moderne. Le point de vue concret de l'auteur, qui néanmoins n'hésite pas à faire appel à des développements de mathématiques supérieures pour compléter une étude poussée aussi loin que possible par des moyens de mathématiques élémentaires, apparaît dans le plan suivi : Le chapitre I étudie en détail les vibrations et l'équilibrage des moteurs et des machines à vapeur et c'est à l'occasion des problèmes posés par les mouvements des organes de ces machines qu'est introduit le formalisme général de la mécanique analytique et notamment la théorie des équations de Lagrange. Le chapitre II développe la théorie générale de la dynamique de la locomotive. C'est au chapitre III seulement qu'est introduite la théorie générale des vibrations, d'abord d'un point de vue élémentaire, puis par les équations de Lagrange et discutée sur de nombreux exemples. Le chapitre IV expose la théorie de la propagation des tensions dans les matériaux élastiques. Le chapitre V développe la théorie des vibrations des poutres et des plaques, la théorie des forces gyroscopiques et la mécanique analytique déduite du principe de moindre action et des équations canoniques d'Hamilton. Le chapitre VI expose la théorie des arbres et disques en rotation et ses applications aux roues et aubes des turbines. Le chapitre VII examine les phénomènes dynamiques résultant de la mise en charge d'une structure et notamment la théorie de la plasticité. Le chapitre VIII, après des considérations sur le choix des méthodes mathématiques à adopter pour l'étude d'un problème déterminé, analyse et discute des problèmes complexes particulièrement intéressants : transmission des tensions dans les structures, vibrations des roues de turbines, vibrations de torsions des arbres et systèmes amortisseurs, théorie des ressorts hélicoïdaux, vibrations des navires, vibrations des hélices, construction des structures résistant aux tremblements de terre.

G. PETIAU.

WILLEMART (A.) et CHAUX (R.). — Les grandes fonctions de la Chimie organique et leurs principales applications. — 1 vol. 16 × 25, 880 pp., avec de nombreuses figures et 2 hors-textes. Ed. Dunod, édit., Paris, 1952. Prix (relié toile) : 5.800 fr.

Comme son titre l'indique et comme pouvait d'ailleurs le laisser prévoir le passé scientifique et professionnel de ses deux auteurs, ce livre occupe une place intermédiaire entre les traités de chimie organique théorique et les ouvrages de chimie appliquée. Tout en conservant les grandes lignes de l'exposé classique des fonctions, avec indication des principaux faits et méthodes d'ordre physico-chimique, les auteurs ont mis en évidence, chaque fois que l'occasion s'en présentait, les groupes de corps d'importance pratique et leurs modes d'obtention industriels. Les grandes matières premières, houilles, pétroles, bois... ont fait l'objet de chapitres spéciaux. De même les caoutchoucs synthétiques, les matières colorantes, et aussi les enzymes, vitamines, hormones et antibiotiques. Comme l'indique dans sa préface le professeur Dufraisse, « c'est vraiment un tour de force d'avoir réussi à rassembler tant de matières en aussi peu de pages, sans nuire à la remarquable clarté de la présentation. Tout y est de ce qui a été, est actuellement ou bien risque de devenir utilisable ». Un tel éloge souligne, mieux que ne le ferait une longue analyse, l'intérêt que présente, pour tous ceux qui s'intéressent à la prodigieuse évolution de la chimie organique, la lecture d'un ouvrage comportant par ailleurs de nombreuses références et abondamment illustré de formules et tableaux.

R. TRUHAUT.



LES REVUES

REVUES GÉNÉRALES EN LANGUE FRANÇAISE

ATOMES, n° 70, janvier 1952.

Louis de BROGLIE. — Sens philosophique et portée pratique de la Cybernétique. — **M. C. SAINT-GIRONS :** La Géographie zoologique. — **Th. de GALIANA :** Les Phares. — **Pierre VALLERY-RADOT :** Les maigres et les obèses.

ATOMES, n° 71, février 1952.

J. A. THOMAS : Survie du cœur et poumon artificiel .— **A. VESSEREAU :** La statistique en Biologie et dans l'expérimentation agricole. — **T. G. MINGOT :** Le ski.

LA NATURE, n° 3201, janvier 1952.

J. S. RABIE : Animaux en liberté. — **P. COUDUN :** Un palmier à cire : le Carnauba. — **N. MAYAUD :** La voix des Oiseaux. — **V. ROMANOVSKY :** Comment on mesure la profondeur de la mer. — **P. DEVAUX :** Les usines de haute chute. La Loire va se jeter dans la Méditerranée ! — **R. ANTHOINE :** Le pneu d'avion. — **G. GENIN :** Estimation des tas de charbon et de minerai par photographies aériennes. — **H. BLIN :** Le bleuissement du lait. — **A. GUILLAUME :** Les herbicides modernes. — **P. FOURNIER :** La notion de vitamine évolue.

LA NATURE, n° 3202, février 1952.

J. BOYER : La Côte de l'Or. — **J. C. PECKER :** L'éclipse de soleil du 25 février. — **R. LUTIGNEAUX :** La nature artiste. — **Y. LE GRAND :** La formation de l'image dans l'œil. — **H. GUÉRON :** La grande industrie chimique en France : l'acide sulfurique. — **R. KULLMANN :** La flottation des minerais. — **R. GAUGUIN :** La polarographie. — **R. M. MAY :** Le déterminisme de la croissance des cellules nerveuses. — **L. BONNET :** Le sort de l'alcool dans l'organisme.

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, 20 janvier 1952.

J. LIVENS : Principe et utilité de la cartographie des sols. — **J. TERCIER :** Problèmes de sédimentation et de tectonique dans les Préalpes. — **G. DROPSY :** Phytopharmacie. — **J. CAUSERET :** Le « Problème physiologique du pain ».

ENDEAVOUR, volume X, n° 40, 1951.

Un siècle de science britannique. — **Sir Ian HEILBRON et A. H. COOK :** Caroténoïdes et Vitamine A, la fin d'un chapitre. — **H. G. VERVERS :** Dimorphisme sexuel de coloration chez les animaux. — **M. W. PORTER :** Identification chimique par une méthode physique. — **K. M. SMITH :** Les maladies à polyèdres des insectes. — **H. ALAN LLOYD :** Un souvenir du Capitaine Cook et de l'**Endeavour** — **B. J. MASON :** Les cristaux de neige naturels et artificiels. — **F. H. POLLARD et J. F. W. McOMIE :** L'analyse chromatographique sur papier et les composés inorganiques.

REVUES GÉNÉRALES EN LANGUES ÉTRANGÈRES

EXPERIENTIA, vol. VIII, fasc. 1, janvier 1952.

J. KASTLER : Quelques réflexions à propos des phénomènes de résonance magnétique dans le domaine des radiofréquences.

JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE, t. 252, n° 4, octobre 1951.

R. L. IVES : Mirages récurrents à Puerto Penasco, Sonora. — **C. E. MANDEVILLE :** Les radioactivités produites par les neutrons lents dans les explosions nucléaires. — **L. SILBERSTEIN :** Superposition ou mélange de courbes à caractéristiques quantiques simples dans les émulsions photographiques. Le contraste relatif correspondant. — **P. MOON et D. E. SPENCER :** Les systèmes de coordonnées cylindriques et à symétrie de rotation.

T. 252, n° 5, novembre 1951.

R. B. ATKINSON, S. G. ELLIS : La ferrographie. — **P. S. SYMONDS, B. G. NEAL :** Progrès récents dans l'analyse structurale par les méthodes plastiques, I. — **D. E. B. SPENCER et S. E. SANBORN :** Réflexions multiples et couleur. — **M. Z. v. KRZYWOBLOCKI :** Sur les bases de certaines théories de la turbulence.

JOURNAL OF RESEARCH OF THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. T. 47, n° 1, juillet 1951.

H. D. HOLLER : Le rôle de la répartition des courants dans la protection cathodique. — **W. F. MEGGERS :** Multiplets et termes spectraux du spectre du technitium. — **E. N. BUNTING, G. R. SHELTON, A. S. CREAMER, B. JAFFE :** Propriétés des diélectriques aux titanates de beryllium-baryum. — **L. W. TILTON, E. K. PLYLER :** La réfractivité du fluorure de lithium et application à l'étalonnage des spectromètres infrarouges. — **A. FOOKSON, P. POMERANTZ, E. H. RICH :** Préparation et purification du deutérure d'hydrogène. — **M. D. BURDICK, B. ZWEIG, R. E. MORELAND :** La dilatation thermique linéaire des graphites artificiels jusqu'à 1370° C. — **H. H. SELIGER, L. CAVALLO :** La standardisation absolue des radioisotopes par comptage sur 4π — **M. R. HESTENES et W. KARUSH :** Une méthode de gradients pour le calcul des racines et des vecteurs caractéristiques des matrices symétriques réelles.

JOURNAL OF RESEARCH OF THE NATIONAL BUREAU OF THE STANDARDS. T. 47, n° 2, août 1951.

H. J. HOGE, R. D. ARNOLD : Tension de vapeur de l'hydrogène, du deuterium et du deutérure d'hydrogène et points de rosée de leurs mélanges. — **H. J. HOGE, J. W. LASSITER :** Volumes, pressions et températures critiques de l'hydrogène, du deutérium et du deutérure d'hydrogène. — **R. N. WORK :** Inféromètre à enregistrement photoélectrique pour les mesures de variations de dimensions. — **J. H. PARK :** Intensification momentanée de 50 fois l'intensité du faisceau électronique dans un oscillographe à cathode froide et haut-voltage. — **R. J. CORRUCCINI :** Traitement thermique du platine pour la thermométrie. — **W. J. SCHWERDTFEGER et O. N. Mc DORMAN :** Conditions de potentiel et de courant pour la protection cathodique de l'acier dans les sols. — **R. E. CUTKOSKY :** Une méthode du type Monte-Carlo pour la résolution d'une classe d'équations intégrales. — **B. G. ACHHAMMER, M. J. REINEY, F. W. REINHARDT :** Etude de la dégradation du polystyrène par la spectrophotométrie infrarouge.

Imprimerie Jacques et Demontrond, Besançon. — 376 - 3-52.
Dépôt légal 1er trimestre 1952 : n° 5301. Le Gérant : R. CONSTANS.